สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปฏิกิริยาการสลายตัวของสีย้อมคองโกเรดด้วยวิธีโอโซเนชัน

Decomposition of Congo Red Dye by Ozonation

น้ำฝน ชินภักดี

ประภาภรณ์ พุทธศร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72134
วัน,เดือน,ปี 11 มิ.ย. 2550

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DECOMPOSITION OF CONGO RED DYE BY OZONATION

NAMFON CHINPUKDEE

PRAPAPRON PUTTASORN

A REPORT SUMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ปฏิกิริยาการสลายตัวของสีย้อมคองโกเรดด้วยวิธีโอโซเนชัน

จัดทำโดย นางสาวน้ำฝน ชินภักดี รหัสนักศึกษา 47015554
นางสาวประภาภรณ์ พุทธศร รหัสนักศึกษา 47015555
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(ดร.พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ปฏิกิริยาการสลายตัวของสีย้อมคองโกเรดด้วยวิธีโอโซเนชัน
ชื่อนักศึกษา นางสาวน้ำฝน ชินภักดี รหัสนักศึกษา 47015554
นางสาวประภาภรณ์ พุทธศร รหัสนักศึกษา 47015555
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ศึกษาการบำบัดสีย้อมคองโกเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมต่างกันคือ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราการป้อนออกซิเจนเข้าเครื่องผลิตโอโซนคงที่ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที อันดับของปฏิกิริยาการสลายตัวของสีและซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบเทียม เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในการบำบัดสีย้อม พบว่าช่วยให้ประสิทธิภาพของการกำจัดสีเพิ่มขึ้น และช่วยลดเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีและซีโอดีให้น้อยลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Titile	Decomposition of Congo Red Dye by Ozonation	
By	Miss Namfon Chinpukdee	ID.NO. 47015554
	Miss Prapaporn Puttasorn	ID.NO. 47015555
Advisor	Dr. Sutasinee Neramittagapong	
Report for	Bachelor Degree of Engineering (Chemical Engineering)	
	Department of Chemical Engineering	
	Faculty of Engineering	
	Kingmongkhut' s institute of technology Ladkrabung	

Abstract

This project is to study for a removal of Congo Red dye in synthetic waste water. The various initial concentrations of 50, 100 and 150 mg/l were tested with constant oxygen feed rate of 1800 ml/min. It has been found that the dye decomposition reaction was the pseudo first order reaction and COD removal was also the pseudo first order reaction. The catalytic ozonation using Al_2O_3 as a catalyst showed an increasing of the dye removal efficiency and gave a decreasing of the decolourization time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา และคำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้ผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อนุเคราะห์สีย้อมคองโกเรด มาใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการเขียนปริญญานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนคำแนะนำในการดำเนินชีวิตและการปฏิบัติตัวให้เป็นคนดีในสังคม

ขอขอบคุณ คุณวัชรากรณ์ ปราณี นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในอุปกรณ์ สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและแนวทางในการดำเนินการศึกษาต่อ

จากการทดลองการสลายตัวของสีคองโกเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซเนชันที่อุณหภูมิห้องและอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซนคงที่ พบว่าเวลาที่ใช้สำหรับการกำจัดสารละลายสีย้อมคองโกเรด เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสารละลายสีย้อมคองโกเรดเริ่มต้นสูงขึ้น โดยมีอันดับของปฏิกิริยาการสลายตัวของสีย้อมคองโกเรด ที่ความเข้มข้น 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วง 30 นาทีแรก พบว่าการเกิดปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบเทียม (pseudo first order reaction) ทั้งสามความเข้มข้น และเมื่อหาอันดับปฏิกิริยาจากการหาความสัมพันธ์ของ ln(-dc/dt) กับเวลาในช่วง 30 นาทีแรก พบว่าที่ความเข้มข้น 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรหาอันดับของการเกิดปฏิกิริยาได้เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบเทียม เมื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดีหลังจากการบำบัดด้วยโอโซนแล้ว พบว่าค่าซีโอดีลดลงมากแต่ไม่สามารถกำจัดได้หมด เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ของสีย้อมคองโกเรดถูกออกซิไดส์ด้วยโอโซนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก และสารประกอบอินทรีย์บางชนิดไม่สามารถกำจัดโดยใช้โอโซนได้ จึงทำให้ค่าซีโอดียังเหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองศึกษาผลการบำบัดสีของสารละลายสีย้อมคองโกเรด โดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์เปรียบเทียบกับกระบวนการที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชัน เมื่อใช้เวลาในการบำบัดสีเท่ากัน พบว่าการบำบัดด้วยวิธีโอโซเนชันสามารถบำบัดสีของสารละลายสีย้อมคองโกเรดได้ค่าการกำจัดสีร้อยละ 90.4 และค่าการลดลงของค่าซีโอดีร้อยละ 50 สำหรับกระบวนการบำบัดโดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์เพียงอย่างเดียว พบว่าเป็นกระบวนการดูดซับได้ค่าการกำจัดสีร้อยละ 88.9 และได้ค่าการลดลงของค่าซีโอดีร้อยละ 42.9 แต่เมื่อใช้กระบวนการบำบัดด้วยวิธีโอโซเนชันควบคู่กับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าช่วยทำให้กระบวนการบำบัดสีของสารละลายสีย้อมคองโกเรดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และช่วยลดเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีให้น้อยลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันควบคู่กับกระบวนการดูดซับ ทำให้ได้ค่าการกำจัดสีร้อยละ 99.5 และค่าการลดลงของค่าซีโอดีร้อยละ 61.9 ซึ่งให้ผลดีกว่าใช้กระบวนการบำบัดด้วยวิธีโอโซเนชัน หรือกระบวนการบำบัดโดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์โดยไม่มีการเติมโอโซน

สำหรับแนวทางในการดำเนินการศึกษาต่อนั้น ควรศึกษาผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นและศึกษาการเร่งปฏิกิริยาหลังจากที่ตัวดูดซับได้ดูดซับสีจนถึงสภาวะสมดุลแล้ว เพื่อศึกษาผลของการเร่งปฏิกิริยาด้วยการเติมตัวเร่งเมื่อไม่มีอิทธิพลของการดูดซับเข้ามาร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 วิธีการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสิ่งทอ.....9
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_A และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์.....17
ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_A$ และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง.....18
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{C_A}$ และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง.....18
ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกซิไดส์สารละลายสีย้อมคองโกเรดด้วยโอโซน.....23
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการสลายตัวของสี.....31
ตารางที่ 4.2 ค่าร้อยละการกำจัดสี และร้อยละการกำจัดซีโอดีจากการบำบัดด้วยกรณีศึกษาต่างกัน โดยใช้สารละลายสีคองโกเรดความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการบำบัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง..... 36
ตารางที่ ข.1 ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ.....44
ตารางที่ ค.1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร.....48
ตารางที่ ค.2 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรดเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....49
ตารางที่ ค.3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดค่าซีโอดีและเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....50
ตารางที่ ค.4 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร.....51
ตารางที่ ค.5 กรณีที่เติม Al_2O_3 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดค่าซีโอดี ร้อยละของการกำจัดสี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 52
ตารางที่ ค.6 กรณีที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซน แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี ร้อยละของการกำจัดสี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....53
ตารางที่ ค.7 กรณีที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนและเติม Al_2O_3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี ร้อยละของการกำจัดสี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ปริมาณน้ำหนักของสีย้อมในการเก็บสารตัวอย่าง และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....55
ตารางที่ ง.2 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ปริมาณน้ำหนักของสีย้อมในการเก็บสารตัวอย่าง และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....56
ตารางที่ ง.3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ปริมาณน้ำหนักของสีย้อมในการเก็บสารตัวอย่าง และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด150 มิลลิกรัมต่อลิตร.....57
ตารางที่ ฉ.1 ปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำอัตราการป้อนออกซิเจน 1800 มิลลิลิตรต่อนาที....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสีย้อมผ้าคองโกเรด....4
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_A และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์....17
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_A$ และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง....18
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{C_A}$ และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง....18
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกซิไดส์สารละลายสีย้อมคองโกเรดด้วยโอโซน....23
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสารละลายสีคองโกเรด....26
รูปที่ 4.2 ปริมาณโอโซนที่สังเคราะห์ได้ที่เวลาการป้อนออกซิเจนต่างๆ กัน....27
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการกำจัดสีกับเวลา ที่ใช้ในการกำจัดสีย้อม....28
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสีในช่วง 30 นาทีแรก....29
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสี ในช่วง 30 นาทีแรก....30
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสีทั้งหมด....31
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสี ในช่วง 30 นาทีแรก....32
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสีทั้งหมด....33
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมกับเวลาในการบำบัดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร....34
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารละลายสีคองโกเรดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร กับเวลาที่ใช้บำบัด....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

A	=	มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างเปรียบเทียบ
B	=	มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตน้ำตัวอย่าง
N	=	นอร์มอลลิตี้ของ FAS
V	=	มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ
Abs	=	ค่าดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)
C_A, C_B	=	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
F_j	=	อัตราการไหลออกของสารที่สนใจ (โมลต่อเวลา)
F_{j0}	=	อัตราการไหลเข้าของสารที่สนใจ (โมลต่อเวลา)
G_i	=	อัตราการเกิดของสารที่สนใจ (โมลต่อเวลา)
k_A	=	ค่าคงที่ของปฏิกิริยา
r_j	=	อัตราการเกิดปฏิกิริยา (โมลต่อเวลา)
V	=	ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ (มิลลิลิตร)
ß, α	=	อันดับของปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมในปัจจุบันมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดที่มีการใช้สีสังเคราะห์ที่เป็น สารประกอบอินทรีย์ในปริมาณมากขึ้น จากการประมาณกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอของโลกในหนึ่งปีนั้นประมาณ 30 ล้านตันต่อปี ต้องใช้สีสังเคราะห์ต่างๆ ถึง 7 แสนตัน [1] สีสังเคราะห์ที่ใช้มีโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมประกอบด้วยสองหมู่หลัก คือ หมู่โครโมฟอร์ (Chromophore) เป็นหมู่ฟังก์ชันที่ทำให้เกิดสี และหมู่ฟังก์ชันที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดวงแหวนพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวที่ทำหน้าที่ยึดติดกับเส้นใย ดังนั้นการทำลายโมเลกุลของสีย้อมต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน การเสื่อมสลายตัวของโมเลกุลสีย้อมในสิ่งแวดล้อมเกิดได้ช้า ทำให้มีการสะสมสีย้อมในปริมาณมาก กฎหมายใหม่ที่ประเทศเยอรมันห้ามนำสินค้าสิ่งทอที่ย้อมจากกลุ่มเอโซที่มีเอมีนที่เป็นพิษ [2] สีย้อมเอโซสามารถแตกตัวให้เอมีนเกิดเป็นสารมะเร็งจำต้องมีการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีหลายวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี การดูดซับด้วยคาร์บอนข้อเสียหลักของกระบวนการคือทำให้เกิดสลัดจ์จำนวนมาก ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำบัดและกำจัดสลัดจ์ที่สูงขึ้น [3] การกำจัดสีย้อมโดยวิธีทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีย้อมด้วยโอโซน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้ และเป็นกระบวนการบำบัดที่ไม่ซับซ้อนใช้ระยะเวลาสั้น อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างอยู่ในน้ำทิ้ง

งานวิจัยนี้ได้สนใจศึกษากระบวนการกำจัดสีย้อมคองโกเรดในน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นสีย้อมชนิดเอโซ โดยพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมต่างๆ กัน และการลดลงของค่าซีโอดีหลังการบำบัดวิธีโอโซเนชัน เพื่อหาอันดับปฏิกิริยาการสลายตัวของสีย้อมคองโกเรด และการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการสลายตัวของสีคองโกเรดด้วยวิธีโอโซเนชัน และผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาการสลายตัวของสีคองโกเรดที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันดังนี้ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.2 ทดลองหาค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัดด้วยโอโซน

1.3.3 หาค่าอันดับปฏิกิริยาของการสลายตัวของสีคองโกเรด

1.3.4 ศึกษาผลการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 สร้างกราฟมาตรฐาน ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับ ความเข้มข้นของสารละลายสีคองโกเรดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

1.4.3 ศึกษาและวิเคราะห์หาค่าซีโอดีหลังการบำบัดด้วยโอโซน

1.4.4 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาอันดับการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสีย้อมคองโกเรด

1.4.5 ศึกษาผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงจลนพลศาสตร์ของการสลายตัวของสีย้อมเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบถังปฏิกรณ์ในกระบวนการอุตสาหกรรม และสามารถลดเวลาในการบำบัดสีย้อมคองโกเรดในน้ำเสียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีย้อมผ้า (Dyestuff)

สีย้อมช่วยเพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์มากกว่าเดิม สีของผลิตภัณฑ์มักเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยทั่วไปสีของผลิตภัณฑ์จะมีส่วนในการตัดสินใจ ในการเลือกซื้อสินค้าตามความต้องการผู้บริโภค

โดยทั่วไปโครงสร้างของโมเลกุลสีย้อมมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก และสีที่ดีนั้นจะต้องทำให้มีคุณสมบัติให้เกิดสีขึ้นอย่างถาวร สีย้อมทุกชนิดต้องมีหมู่ฟังก์ชันไม่อิ่มตัว และบางส่วนของโมเลกุลสีย้อมเป็นวงอะโรมาติกส์

สีย้อมประกอบด้วยโครงสร้างที่ทำให้เกิดสี เรียกว่าโครโมเจน (Chromogen) ส่วนของโมเลกุลที่ทำให้สีย้อมมีคุณสมบัติทางด้านการละลาย และมีคุณสมบัติการย้อมติดสี เรียกว่า ออกโซโครม (Aoxochrome) ซึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอน โครงสร้างของสีย้อมจะประกอบด้วยทั้งสองส่วนรวมกัน โครโมเจนเป็นส่วนโครงสร้างอะโรมาติกส์ ซึ่งในโมเลกุลสีย้อมและหมู่ที่ให้สี โดยทั่วไปจะเรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophore) จะเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ให้สีโดยการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นแสงที่มองเห็น (Visible spectrum) และหมู่โครโมฟอร์ที่มีอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมโดยทั่วไปมีดังนี้

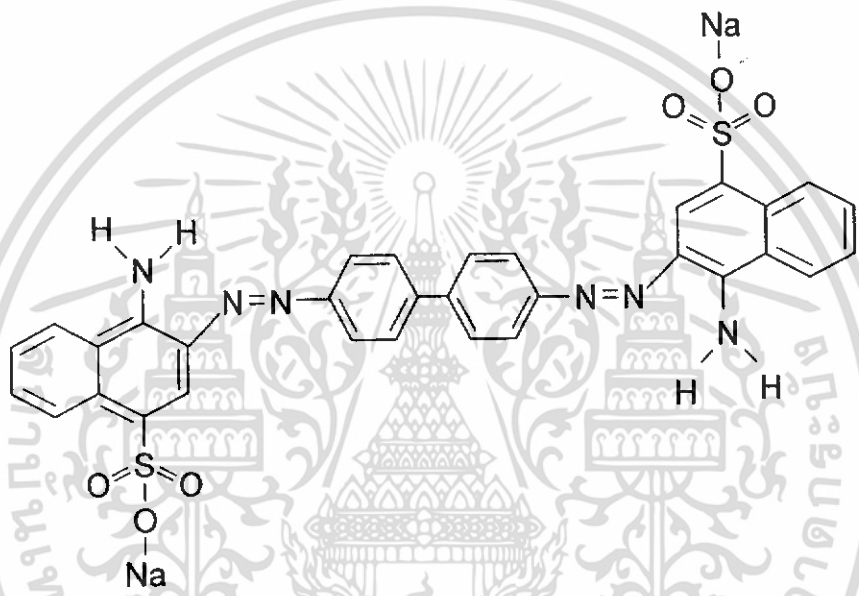
1. หมู่ไนโตรโซ -N=O หรือ =N-OH
2. หมู่ไนโตร $-NO_2$ หรือ =NOOH
3. หมู่เอโซ -N=N- หรือ $-^{+}N\equiv N$
4. หมู่เอทิลีน >C=C<
5. หมู่คาร์บอนิล >C=O
6. หมู่คาร์บอนิล-ไนโตรเจน >C=NH หรือ -CH=N-
7. หมู่คาร์บอน-ซัลเฟอร์ C-S-S-C< หรือ >C=S

หมู่ฟังก์ชันดังกล่าวจะเพิ่มความสามารถในการเกิดสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติกส์ โดยจะเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มการดูดซับสีในช่วงคลื่นที่มองเห็น นอกจากนี้หมู่โครโมฟอร์สามารถจะใช้เป็นพื้นฐานในการจำแนกชนิดของสีย้อมด้วย โมเลกุลของสีย้อมบางตัวจะลดความเข้มข้นของสีหมู่โครโมฟอร์ในโมเลกุลของสีย้อมอิ่มตัว หมู่ออกโซโครมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโมเลกุลของสีย้อมและจะเป็นหมู่ที่ทำให้เกิดการยึดติดกับวัสดุที่ทำการย้อมสี [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สีย้อมคองโกเรด

สีย้อมคองโกเรดเป็นเกลือโซเดียมของ Benzidinediazo-cis-1-Naphtylamine-4-Sulfonic Acid เป็นสีชนิดไดเอโซสามารถละลายในน้ำได้ร้อยละ 40 ซึ่งเป็นสารละลายที่สำคัญสำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการย้อม สีย้อมคองโกเรดเมื่อละลายในน้ำจะมีสีแดงเข้ม และเหมาะสำหรับใช้ในการย้อมผ้าฝ้าย สีย้อมคองโกเรดมีคุณสมบัติที่ไวต่อแสงและกรด มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 696.66 และมีสูตรโครงสร้างคือ $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$ [4]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสีย้อมผ้าคองโกเรด [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

2.3.1 น้ำเสีย (Water pollution)

น้ำเสียเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมการฟอกย้อม น้ำเสียจากการฟอกย้อมจะมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการฟอกย้อม เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนของการเตรียมผ้า ขั้นตอนของการให้สี และขั้นตอนของการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก สิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี ไขมัน กรด - ด่าง สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ดังนั้นจึงทำให้มีปริมาณสารพิษในน้ำเสียค่อนข้างสูงและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสียจะเริ่มจากกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียลงในรางระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน [6] คือ

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำเสียที่เกิดจากการใช้น้ำในกระบวนการฟอกย้อม น้ำที่ใช้ส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.1 น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้มีปริมาณไม่มาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ค่อนข้างสูง

1.2 น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมากแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่โดยรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

2. น้ำที่ใช้ในระบบหม้อไอน้ำ

กระบวนการการฟอกย้อมมักมีการใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรงก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อมและถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกที่สุด

3. น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อมของโรงงานเหล่านี้มีบ่อยครั้งที่จำเป็นต้องทำการลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมโดยใช้ระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมและในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมาก เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

5. น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจจะมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น น้ำใช้จากคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

2.3.2 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะสมบัติน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมประเภทต่างๆ จะมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และสารเคมีที่ใช้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติน้ำเสียในแต่ละโรงงานยังขึ้นอยู่กับเวลาและฤดูกาล แต่โดยทั่วไปมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานฟอกย้อมมี [7] ดังนี้

1. บีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD)

ค่าบีโอดี คือค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในโรงงานฟอกย้อมบีโอดีส่วนใหญ่เกิดจากการเอาแป้งออกจากเนื้อผ้าหรือขั้นตอนการลอกแป้ง (Desizing) ซึ่งหากเป็นแป้งธรรมชาติ (Starch) นั้นจะมีความสกปรกในรูปของบีโอดีสูงมากเมื่อเทียบกับแป้งสังเคราะห์ (PVA, CMC, PVOH) หากพิจารณาจาก การฟอกย้อมผ้าผืนทอ (Woven fabrics) ความสกปรกในรูปของบีโอดีจากกระบวนการลอกแป้งจะคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 50 ของความสกปรกทั้งหมดในกระบวนการฟอกย้อม นอกจากค่าสกปรกในรูปบีโอดีเกิดจากกระบวนการฟอกย้อมต่างๆ ของสารจำพวกโปรตีน กรดอินทรีย์ ฯลฯ

2. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ค่าซีโอดี เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์โดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) ในสารละลายที่เป็นกรด ในกระบวนการฟอกย้อมค่าซีโอดีเกิดจากสารช่วยย้อมสารสี สารตกแต่งและสารซักฟอก รวมทั้งสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความสกปรกในรูปบีโอดี และสารอื่นๆ ที่เป็นตัวรับออกซิเจน (Reducing agent) เกือบทั้งหมด

3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด- ด่างของน้ำจะขึ้นอยู่กับสภาวะในการทำความสะอาดผ้า การฟอกขาวและสารย้อมสี ค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้งจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในน้ำ

5. สีในน้ำทิ้ง

สีในน้ำทิ้งเป็นสิ่งที่ให้ผลกระทบได้ง่ายต่อความรู้สึกของผู้คนที่ได้พบเห็น แม้ว่าค่าบีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว ก็ยังคงถูกจัดว่าเป็นน้ำเสียอยู่ดี

2.3.3 ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ลักษณะโดยทั่วไปของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม [4] มีดังนี้

1. ความหลากหลายของสิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำทิ้ง

การฟอกย้อมสิ่งทอเป็นกระบวนการที่ต้องใช้สารเคมี และสีย้อมชนิดต่างๆ มากมายรวมแล้วหลายร้อยชนิด สารเคมีและสีย้อมเหล่านี้บางส่วนจะถูกดูดซึมไว้ในวัสดุสิ่งทอ แต่จะมีบางส่วนประปนมาในน้ำทิ้งซึ่งสารเคมีและสีย้อมแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติด้านความเป็นพิษ ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และด้านความยากง่ายในการกำจัดที่แตกต่างกันไป

2. ความหลากหลายของน้ำทิ้งในด้านคุณภาพและปริมาณ

น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมจะมีความหลากหลายมาก ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ กระบวนการ และชนิดของสีย้อมที่ใช้ ตลอดจนประเภทของเครื่องจักรที่ใช้

3. การมีสีของน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมจะมีสี ซึ่งทำให้เป็นที่รังเกียจของผู้ที่พบเห็นและการกำจัดสีจากน้ำทิ้งก็เป็นเรื่องยากและมีค่าใช้จ่ายสูงมาก

4. ปริมาณของน้ำทิ้งที่ค่อนข้างมาก

โรงงานฟอกย้อมจะมีปริมาณน้ำทิ้งที่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการบำบัดมาก ต้นทุนการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำทิ้งจึงสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้า

น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้าสามารถถูกกำจัดไปบางส่วน ไม่ว่าจากกระบวนการบำบัดด้วยวิธีทางเคมีหรือชีวภาพ ความพยายามที่จะกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งให้หมดไปหรือให้มีสีย้อมเหลือน้อยที่สุดได้ถูกคิดค้นมาเป็นเวลานาน วิธีที่มีการศึกษาวิจัยและรวบรวมไว้เป็นเอกสารที่ปรากฏอยู่ [8] มีดังต่อไปนี้

1. โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

โคแอกกูเลชันหรือการสร้างตะกอนเคมี ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ขั้นตอนการเติมสารเคมีสำหรับสร้างตะกอน (Coagulant) ซึ่งได้แก่ สารส้ม ปูนขาว เกลือของเหล็ก สารโพลีอิเล็กโทรไลท์ เป็นต้น ผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเล็กๆ ขั้นตอนที่สองคือ การกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพการรวมตัวของตะกอน (Flocculation) ซึ่งมีการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยเล็กๆ กับสารสร้างตะกอน จนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนได้

2. การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซที่มาเกาะจับและติดบนผิว จะเรียกโมเลกุลหรือคอลลอยด์นั้นว่าสารถูกดูดส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่ที่โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนที่ไปเกาะอีกสารหนึ่งว่า การดูดซับ (Adsorption)

โดยทั่วไปกระบวนการดูดซับในกระบวนการกำจัดสี กลิ่น ในน้ำประปา และกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียจะนิยมใช้แอกติเวทเต็ดคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงตามไปด้วย

3. การใช้เมมเบรน (Membrane technology)

เทคโนโลยีการใช้แผ่นเมมเบรนประกอบด้วยวิธีอัลตราฟิวเตรชัน และรีเวอร์สออสโมซิส วิธีอัลตราฟิวเตรชันมีหลักการทำงานของระบบ คือ ใช้แผ่นเยื่อกระดาษ (Membrane) แบบรูพรุน (Porous) พวกเซลลูโลส แอซิเตต หรือโพลีเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1.034 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เยื่อกรองจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กที่มีขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 500 - 500,000 และขนาดตั้งแต่ 2×10^{-6} ถึง 1×10^{-2} มิลลิเมตร ได้สำหรับวิธีรีเวอร์สออสโมซิส สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอัลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรองผ่านเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คลอรีเนชัน (Chlorination)

คลอรีเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซ์สูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือปริมาณสีลดลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณ และความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้จะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปออกไซด์ และคลอรีนไดออกไซด์

5. โอโซเนชัน (Ozonation)

โอโซเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดซ์ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับคลอรีน แต่โอโซนจะมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีนเกือบเท่าตัว การผลิตโอโซนเนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรแตกกระจายไปเป็นออกซิเจนได้รวดเร็วมากหลังจากการผลิตโอโซนขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องนำเครื่องผลิตโอโซนติดตั้งไว้ที่โรงบำบัดน้ำเสีย

จากวิธีการดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดการใช้งานดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วิธีการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสิ่งทอ [9]

ประเภท	สภาวะ	ประสิทธิภาพ	ข้อด้อย
การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment)	แอกติเวทเต็ดสลัดจ์ การเติมอากาศแบบนาน(extended aeration) บ่อเติมอากาศ (aerated lagoons) การบำบัดบนผิวดิน (land treatment)	ลดค่าบีโอดี	- ใช้เวลานาน - ต้องการอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ - ต้องการพื้นที่ถังขนาดใหญ่ และมีบ่อพักน้ำ - ต้องการพื้นที่ในการบำบัด - ไม่สามารถกำจัดสารประกอบที่เป็นพิษได้ - การกำจัดสีไม่คงที่
การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (Chemical Precipitation)	เติมสารตกตะกอนและปรับค่า pH	ลดปริมาณโลหะหนักของแข็งแขวนลอย บีโอดี และซีโอดี	- การกำจัดสีไม่คงที่ขึ้นกับกลุ่มสีและกระบวนการย้อมสี - ลดค่าซีโอดี และบีโอดีได้น้อย - เกิดปัญหาในเรื่องจัดการสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 วิธีการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสิ่งทอ (ต่อ)

ประเภท	สภาวะ	ประสิทธิภาพ	ข้อด้อย
แอกติเวทเต็ดคาร์บอน (Activated carbon)	ให้น้ำไหลผ่านเบดของคาร์บอน ใช้เป็นกระบวนการก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดอื่น	ลดค่าบีโอดี ซีโอดี และกำจัดสี	- ใช้เงินลงทุนแพง - ใช้เวลานาน - ดูดซับได้ช้า - ทำการปรับปรุงบ่อย และมีราคาแพง
อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration)	ใช้ความดันทำให้น้ำซึมผ่านเยื่อกรองโพลิเมอร์ชนิดพิเศษ	ลดค่าบีโอดี ซีโอดี และกำจัดสี	- เยื่อกรองสกปรกง่าย - ไม่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ - ต้องทำความสะอาดเยื่อกรองบ่อย
โอโซน (Ozone)	ใช้ก๊าซโอโซน ใช้การออกซิไดซ์สารอินทรีย์	- ลดค่าบีโอดี ซีโอดี และกำจัดสีได้ดี - ใช้เวลาในการบำบัดน้อย	- ใช้เงินลงทุนแพง - โลหะหนักและของแข็งแยกวิธีบำบัดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โอโซน

2.5.1 คุณสมบัติของโอโซน

มีการใช้โอโซนเป็นครั้งแรกที่ประเทศฝรั่งเศสในโรงงานผลิตน้ำประปาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1900 และในปัจจุบันมีการใช้โอโซนมากขึ้นทุกขณะ แม้กระทั่งในสระว่ายน้ำก็มีการใช้มากขึ้นโอโซนช่วยฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ช่วยกำจัดกลิ่นและรส ช่วยกำจัดสีได้และยังกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้อีกด้วย

โอโซนอยู่ในรูปของสารประกอบของออกซิเจน มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ O_3 เป็นก๊าซที่ไม่เสถียร ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างแรงสำหรับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยโอโซนมีคุณสมบัติทางกายภาพ [8] ดังนี้

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

2.5.2 ประสิทธิภาพของโอโซน

โอโซนเป็นตัวออกซิแดนท์ (Oxidant) ที่ดีมาก ซึ่งสามารถกำจัดแบคทีเรียและจุลชีพอื่นๆ ได้ดีด้วยการไปทำลายกำแพงเซลล์ก่อน นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดเชื้อโรคได้ดีอีกด้วย และพบว่าโอโซนมีความสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียได้ดีกว่าคลอรีน [8]

เมื่อใช้โอโซนกับน้ำเสีย จะไม่ไปเพิ่มค่าสารละลายแขวนลอย ในน้ำทิ้ง และจะไม่ถูกผลกระทบจาก สารแอมโมเนียในน้ำเสีย และไม่ทำให้ค่าความเป็น กรด - ด่างของน้ำเสียเข้าเปลี่ยนแปลง เมื่อใช้โอโซนก็ไม่จำเป็นต้องใช้ระบบลดคลอรีนเหมือนกับระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยคลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การสลายตัวของโอโซน

เมื่อโอโซนละลายน้ำจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนของน้ำเกิดเป็นอนุมูลอิสระต่าง ๆ และสุดท้ายก๊าซโอโซนจะสลายตัวกลายเป็นออกซิเจน [10] ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$O_3 + OH^- \longrightarrow HO_3^- + OH^{\bullet} \quad (2.1)$$

$$HO_3^- + OH^- \longrightarrow 2HO_2 \quad (2.2)$$

$$O_3 + HO_2 \longrightarrow HO + 2O_2 \quad (2.3)$$

$$HO + HO_2 \longrightarrow H_2O + O_2 \quad (2.4)$$

โอโซนทำปฏิกิริยาทันทีที่สัมผัสกับสารแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำ อาทิเช่น สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ รวมถึงความหนาแน่นของเซลล์จุลินทรีย์ ในน้ำ โอโซนจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว และแตกตัวให้อนุมูลอิสระ ได้แก่ Hydroxyl radical ($OH^{\bullet}$) และ (HO^-_3) เป็นต้น ซึ่งมีความไวในการทำปฏิกิริยา

2.5.4 ผลของโอโซนต่อคุณภาพของน้ำ

โอโซนเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ รวมทั้งโลหะหนักในน้ำเสีย โดยโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของสารประกอบอินทรีย์ เพื่อขัดขวางกระบวนการเกิดอัลดีไฮด์ หรือคีโตน กรด เอสเธอร์ และเพอร์เอสเทอร์ นอกจากนั้นโอโซนยังมีความไวในการทำปฏิกิริยาที่อะตอมออกซิเจนของแอลกอฮอล์ และการทำปฏิกิริยากับฟีนอล และอนุพันธ์ที่หมู่ไฮดรอกซิล โอโซนสามารถขจัดสีได้ โดยทำลายพันธะคู่ของคาร์บอนและไนโตรเจนและวงอะโรมาติกส์อย่างไรก็ตามการทำปฏิกิริยาต้องใช้เวลานานจึงจะกำจัดสีให้หมดไป เช่น กำจัดสีเอโซ ปริมาณ 50-80% ต้องใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง [11]

2.5.5 การเกิดออกซิเดชันทางเคมี [12]

การเกิดออกซิเดชันทางเคมีจะเป็นกระบวนการบำบัดของเสียอันตราย ด้วยวิธีทางเคมี โดยเป็นปฏิกิริยาที่เพิ่มค่าออกซิเดชันของสารหรือปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ การสูญเสียอิเล็กตรอนของอะตอม ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือกำจัดความเป็นพิษของของเสียด้วยการใช้สารออกซิไดซ์ วิธีออกซิเดชันทางเคมีเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถทำลาย หรือกำจัดโมเลกุลสารอินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่ายต่างๆ สารฟีนอล เป็นต้น และนอกจากนี้ยังสามารถกำจัดสาร อนินทรีย์ได้ด้วย เช่น สารไซยาไนด์ และสารซัลไฟด์ เป็นต้น ในการเลือกใช้วิธีออกซิเดชันทางเคมีจะใช้กำจัดสารอันตรายที่มีความเข้มข้นต่ำด้วย หรือต้องการกำจัดให้เหลือความเข้มข้นที่ต่ำลงของเสียอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถอยู่ในรูปน้ำเสีย นอกจากนี้ต้องพิจารณาด้วยว่าเมื่อมีการเกิดออกซิเดชันทางเคมีกับสารอันตรายซึ่งอาจเกิดกลไกหลายลักษณะดังนี้

- เกิดการย่อยสลายในโครงสร้างหลักของสารอันตราย
- เกิดการย่อยสลายในโครงสร้างหลักของสารจนทำให้ความเป็นพิษลดลง
- เกิดการย่อยสลายจนทำให้สารอินทรีย์คาร์บอนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ระบบการเกิดออกซิเดชันทางเคมีจะเป็นการเติมสารเคมีผสมกับน้ำเสียอันตราย ซึ่งมีการผสมกันในถังกวนแบบสมบูรณ์หรือถังแบบไหลตามกัน น้ำเสียไหลลงในถังกวน โดยจะมีสารที่ทำให้เกิดออกซิเดชันทางเคมีใส่ลงไป ในการผสมกันระหว่างน้ำเสียกับสารเคมีจะถูกผสมกันด้วยเครื่องกวนด้วยการเป่าฟองอากาศลงในถัง หรือด้วยความดันลด และต้องให้มีการผสมกันอย่างทั่วถึงสูงสุด ซึ่งการผสมกันระหว่างสารเคมีกับน้ำเสียจะช่วยให้การใช้ทุกๆ โมเลกุลของสารเคมีได้ทำปฏิกิริยากับน้ำเสียอย่างทั่วถึงที่สุด

2.5 การตรวจวัดปริมาณก๊าซโอโซน [13]

ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา นับตั้งแต่มีการผลิตจากเครื่องผลิตจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจวัดความเข้มข้นที่แท้จริงของโอโซน วิธีการในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณโอโซน

เครื่องผลิตก๊าซโอโซนที่จำหน่ายในท้องตลาด ระบุความเข้มข้นของโอโซน ที่ผลิตเป็นหน่วยน้ำหนักก๊าซต่อเวลา ก๊าซโอโซนที่ผลิตออกมาจากเครื่อง จะเกิดการสลายตัวเนื่องจากปัจจัยหลายประการของน้ำที่ทำละลาย เช่น ความเค็ม อุณหภูมิ ความกระด้าง ปริมาณและชนิดของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำ เป็นต้น

การวัดปริมาณโอโซนเป็นการหาปริมาณก๊าซโอโซน ให้มีปริมาณเหมาะสมที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีทางเคมีที่เรียกว่า ไอโอโดเมทติกต์ (Iodometric method) โดยข้อดีของวิธีไอโอโดเมทติกต์คือมีราคาไม่แพง เป็นวิธีที่สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของโอโซนที่อยู่ในสถานะก๊าซ หรือสถานะของเหลว มีหลักการคือใช้สารละลายที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน สำหรับวิธีการวัดความเข้มข้นของโอโซนในของเหลวจะใช้ก๊าซโอโซนผ่านเข้าไปในถังปฏิกรณ์ ที่บรรจุน้ำตัวอย่างผสมกับสารโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เพื่อเป่าให้เกิดฟองผสมกันทั่วทั้งถัง ก๊าซโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ทำให้เกิดไอโอดีน จากนั้นคำนวณหาปริมาณโอโซน จากการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ คำนวณความเข้มข้นของโอโซนได้จากปฏิกิริยาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O_3 + 2KI + H_2O \longrightarrow I_2 + O_2 + 2KOH \quad (2.5)$$

ไม่มีสี สีเหลืองหรือสีส้ม

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6 \quad (2.6)$$

สีเหลืองหรือสีส้ม ไม่มีสี

จากสมการข้างต้นทั้งสองสมการ สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้กับปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตได้

2.7 การหาอัตราของปฏิกิริยาและอันดับของปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ [14]

เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ จะไม่มีการไหลเข้าของสารตั้งต้น และไหลออกของสารผลิตภัณฑ์ในขณะที่ยังมีการทำงานอยู่ ดังนั้นการไหลเข้า (F_{j0}) และอัตราการไหลออก (F_j) จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้สมการสมดุลดังสมการที่ (2.7)

$$\frac{dN_j}{dt} = \int r_j dV \quad (2.7)$$

ถ้าในเครื่องปฏิกรณ์มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่ ดังนั้นสามารถที่จะหาอัตราของการเกิดปฏิกิริยาได้ดังสมการที่ (2.8)

$$\frac{dN_j}{dt} = r_j dV \quad (2.8)$$

การคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยา

เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ ซึ่งสามารถพิจารณาอันดับของปฏิกิริยาได้หลายกรณี หรือ พิจารณาที่อัตราที่คงที่ได้โดยการหาอนุพันธ์ ของความเข้มข้นกับเวลา จะใช้วิธีนี้เมื่อสภาวะของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นฟังก์ชัน (function) กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงชนิดเดียว ถ้าปฏิกิริยาแยกออกมาได้ดังนี้

$$A \longrightarrow \text{Product} \quad (2.9)$$

$$-r_A = kC_B^{\alpha} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการนี้ยังต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง $-r_j$ และความเข้มข้นของสารตั้งต้นตัวอื่น สำหรับปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้

$$A + B \longrightarrow \text{Product} \qquad (2.10)$$

มีกฎอัตราดังนี้

$$-r_A = k_A C_A^{\alpha} C_B^{\beta} \qquad (2.11)$$

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

$$-r_A = k'_A C_A^{\alpha} \qquad (2.12)$$

เมื่อ

$$k' = kC_B^{\alpha} \approx kC_{B0}^{\beta} \qquad (2.13)$$

หลังการพิจารณาค่า α ให้ปฏิกิริยานี้จะมี A มากเกินพอ ดังนั้นจะประมาณค่ากฎอัตราได้จาก

$$-r_A = k''C_B^{\beta} \qquad (2.14)$$

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

$$k_A = \frac{-r_A}{C_A^{\alpha} C_B^{\beta}} = k_A C_A^{\alpha} \qquad (2.15)$$

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

สรุปแล้ว กระบวนการที่ใช้วิธีการหาอนุพันธ์ พิจารณากระบวนการที่มีอุณหภูมิคงที่ ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรคงที่ และความเข้มข้นเป็นฟังก์ชันกับเวลา โดยการรวมสมดุลโมลกับกฎอัตราจากสมการที่ (2.12) จะได้

$$\frac{-dC_A}{dt} = k_A C_A^{\alpha} \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการใส่ ln ทั้งสองข้าง จะได้

$$\ln\left(\frac{-dC_A}{dt}\right) = \ln\ k_A \quad + \quad \alpha\ \ln\ C_A \qquad (2.17)$$

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

2.8 การหาค่าทางจลนพลศาสตร์เมื่อทราบอันดับของปฏิกิริยา [15]

2.8.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero-Order Reactions)

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์เป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตามเวลา ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงคงที่ในหน่วย มวล/เวลา เช่น มิลลิกรัม/วินาที แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ดังนี้

$$\frac{dC_A}{dt} = r = k \qquad (2.18)$$

เมื่อ C_A คือความเข้มข้นของสาร A ในหน่วย มวล/ปริมาตร, t คือเวลา ในหน่วย วินาที, r คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมีค่าคงที่ คือ k ในหน่วย มวล/ปริมาตร/เวลา

เมื่อ อินทิเกรต สมการ ที่ (2.18)

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} dC_A = k \int_0 dt \qquad (2.19)$$

$$C_A - C_{A0} = -kt \qquad (2.20)$$

อินทิเกรตสมการของปฏิกิริยาอันดับศูนย์เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

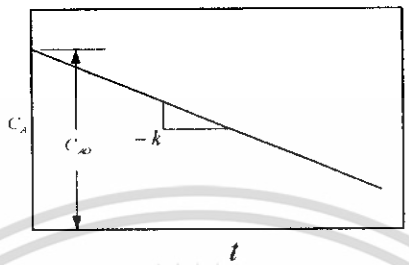
$$C_A = C_{A0} + kt \qquad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิเกรตสมการของปฏิกิริยาอันดับศูนย์เมื่อถ้าความเข้มข้นลดลง

$$C_A = C_{A0} - kt \qquad (2.22)$$

สมการนี้สามารถพลอตกราฟระหว่าง C_A กับ t ดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_A และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์

2.8.2 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-Order Reactions)

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของความเข้มข้นของสารที่ถูกใช้ไปหรือถูกทำลายไปสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\frac{dC_A}{dt} = r = -kA \qquad (2.23)$$

สมการนี้เมื่ออินทิเกรต ระหว่าง C_{A0} และ C_A, และ $t = 0$ และ t

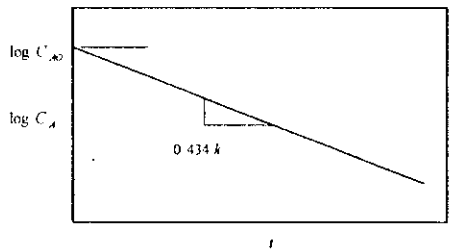
$$\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = -k \int_0 dt \qquad (2.24)$$

$$\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = -kt \qquad (2.25)$$

หรือ $$\frac{C_A}{C_{A0}} = e^{-kt} \qquad (2.26)$$

หรือ $$\ln C_A - \ln C_{A0} = -kt \qquad (2.27)$$

72134
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_A$ และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

2.8.3 ปฏิกิริยาอันดับสอง(Second-Order reactions)

ปฏิกิริยาอันดับสองแสดงได้ดังนี้

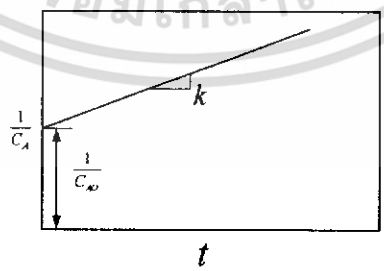
$$\frac{dC_A}{dt} = r = -kC_A^2 \tag{2.28}$$

อินติเกรตสมการนี้เมื่ออินติเกรต ระหว่าง C_{A0} และ C_A, และ $t = 0$ และ t

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A^2} = -k \int_0^t dt \tag{2.29}$$

$$\left. \frac{1}{C_A} \right]_{C_{A0}}^{C_A} = kt \tag{2.30}$$

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_A} = kt \tag{2.31}$$



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{C_A}$ และ t เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การกำจัดสีย้อมเอโซมีกลุ่มที่ศึกษาหลายกลุ่มได้ศึกษา โดยนราวุธ ศรีจันทร์ และพัฒนศักดิ์ วานิช [6] ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อมชนิดเอโซ พบว่าสามารถกำจัดสารละลายสีย้อมฟ้าสบลูบีได้หมด และมีการ ศึกษาอัตราการไหลของออกซิเจนที่เข้าเครื่องผลิตโอโซน เพื่อหาอัตราการไหลของโอโซนที่เหมาะ สมในการกำจัดสีย้อม ซึ่งได้ค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมคือ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที และณัฐวุฒิ รุ่งนิยม และวัชระ ประภาชัย [8] ศึกษาการกำจัดสีย้อมชนิดเอโซพบว่าสามารถกำจัดสารละลายสีย้อมคองโกเรดได้มีการศึกษาความเป็นกรด – ด่าง ของสารละลายและเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตในสาร ละลายสีย้อม พบว่าค่าความเป็นกรด – ด่างที่ 10 ใช้เวลาในการกำจัดสีย้อมเร็วกว่าสารละลายสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด – ด่างที่ 4 และ 7 โดยสารละลายที่ค่าความเป็นกรดหรือด่างสามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ดีกว่าสารละลายสภาพเป็นกลางและเกลือโซเดียมซัลเฟตมีผลทำให้เวลาการบำบัดนานขึ้นแต่งานวิจัยของทั้งสองกลุ่มนี้ไม่ได้กล่าวถึงปฏิกิริยาการสลายตัวของสีและซีโอดี จากรายงานการวิจัยของหลายกลุ่มพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับโอโซนจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีดีขึ้น โดยสามารถแบ่งตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็น 2 แบบ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบแบบเอกพันธุ์ (homogeneous catalytic) และ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalytic) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์จะถูกกระตุ้น โดยอิออนของโลหะ และ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จะถูกกระตุ้นโดยการออกซิไดซ์ของโลหะ ตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาโอโซเนชัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ต่างๆในน้ำดื่มและน้ำเสีย [16]

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ที่ใช้ในกระบวนโอโซเนชันมีดังนี้ Fe(II), Mn(II), Ni(II), Co(II), Cd(II), Cu(II), Ag(I), Cr(III)และ Zn(II) จากงานวิจัยของ Davinson [17] พบว่าในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการโอโซเนชันสามารถประยุกต์การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Fe(II), Mn(II), Ni(II) และ Co(II) มาเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีกว่าการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการโอโซเนชันอย่างเดียว โดยมีนักวิจัยหลายท่านได้สนใจ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ ดังสรุปรายงานของ Gracia et [18] ได้ผลลัพธ์ ของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นที่น่าพอใจ ดังนี้ Mn(II) สามารถลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ถึง 62 % และ Ag(I) สามารถลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ถึง 61 % ซึ่งเปรียบเทียบกับการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการโอโซเนชันอย่างเดียว

สำหรับงานวิจัยของ Hassan และ Hawkyard [19] การกำจัดสีย้อม Remazol Black B (RBB) ความเข้มข้น 120 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโอโซเนชันใช้ Ferral เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 24 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าที่เวลา 60 วินาที สามารถกำจัดสีย้อมได้ถึง 91% มีการศึกษาความเป็นกรดด่างของสารละลายสีย้อมพบว่าค่าความเป็นกรด – ด่างที่ 3 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีดีที่สุด ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ที่ใช้ในกระบวนโอโซเนชันมีดังนี้ MnO_2, TiO_2 และAl_2O_3 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายขนาดและพื้นที่ผิวสัมผัส ของตัวเร่งปฏิกิริยา Beltrán [20] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิดได้ผลดังนี้ ระบบ TiO_2/ O_3 มีกรดออกซาเลทจะทำให้น้ำเสียมีความเป็นกรดสูงขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงกว่าการบำบัดโดยวิธีการโอโซเนชันเล็กน้อย ระบบ Al_2O_3/O_3 มีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ถึง 83.7 % เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว และการใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธ์ยังมีข้อดีคือ สามารถแยกจากน้ำเสียหลังการบำบัดได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษา

ตอนที่ 3.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นต่างๆ กันเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารละลายสีย้อมคองโกเรด (LABCHEM) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV / Vis Spectrophotometer)
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด
3. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด
4. ปีเปตขนาด 25 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีย้อมคองโกเรด ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้ปีเปตดูดสารละลายสีย้อมเข้มข้น 100 มิลลิลิตร มา 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. นำสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร
3. บันทึกผลที่ได้และนำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3.2 การทดลองศึกษาผลของค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ต่อการสลายตัวของสีคองโกเรดและซีโอดี

การทดลองนี้เป็นการพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชัน โดยทดลองที่ค่าเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมคองโกเรดให้หมดไป

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมคองโกเรด (LABCHEM) ที่เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozone model : OZ – 732)
2. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแม่เหล็ก
3. ถังออกซิเจน
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
6. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV / Vis Spectrophotometer)
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
8. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
9. ขวดสีชาเก็บตัวอย่าง 20 ขวด

วิธีการทดลอง

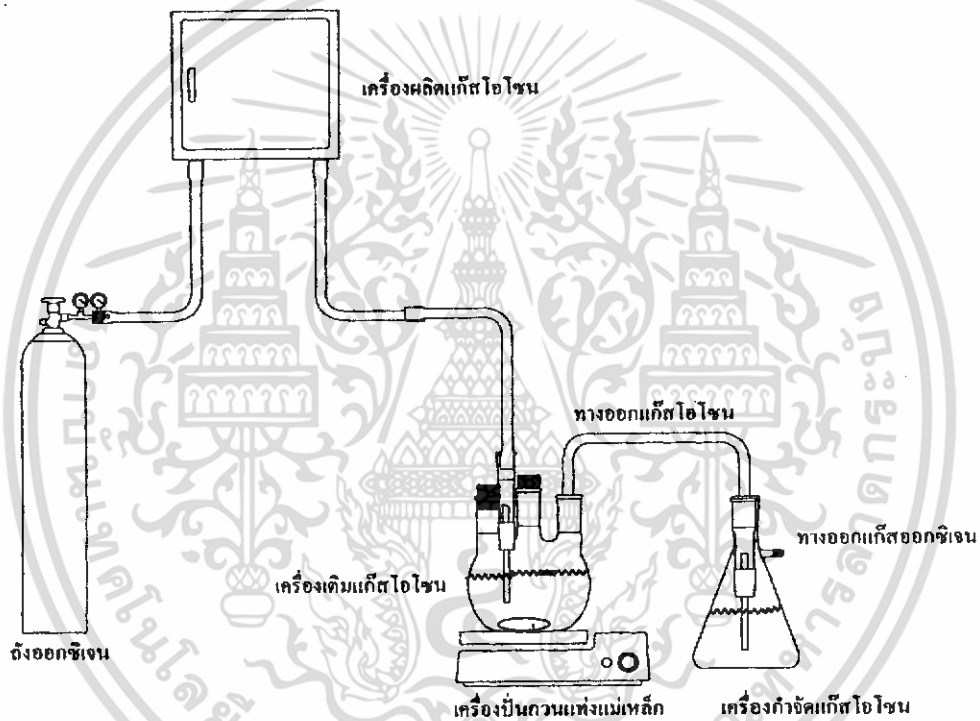
1. จัดเตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1
2. เติมสารละลายสีย้อมคองโกเรดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 700มิลลิลิตร ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
3. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดประมาณ 5 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และ10 มิลลิลิตรเพื่อหาค่าซีโอดี ดังภาคผนวก ข
4. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหล ผ่านเข้าเครื่องผลิตโอโซน และปรับอัตราการไหลเท่ากับ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที
5. เปิดสวิตซ์เครื่องโอโซนและปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จับเวลาและเก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมคองโกเรดประมาณ 5 มิลลิลิตร ทุกๆ 5 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงแรก และ ชั่วโมงต่อไปทุก 30 นาที เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และเก็บตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร เพื่อหาค่าซีโอดี จนกระทั่งสารละลายใสไม่มีสี

7. นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าซีโอดี ดังภาคผนวก ข

8. ทดลองซ้ำตาม ข้อ 4. ถึง ข้อ 8. โดยปรับค่าความเข้มข้น ของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ความเข้มข้น 100 และ150 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ข้อ 3. ให้เปลี่ยนการเก็บตัวอย่างเป็น 5 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมงแรก และ ชั่วโมงต่อไปทุก 30 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกซิไดส์สารละลายสีย้อมคองโกเรดด้วยโอโซน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3.3 การศึกษาผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีผลต่อการบำบัดสารละลายสีย้อมคองโกเรดและวิเคราะห์ค่าซีโอดี

การทดลองนี้เป็นการพิจารณาผลของการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับกระบวนการโอโซเนชันที่มีผลต่อการบำบัดสีของสารละลายสีย้อมคองโกเรดและวิเคราะห์ค่าซีโอดีหลังการบำบัด เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระบวนการโอโซเนชันในการบำบัดเพียงวิธีเดียว

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมคองโกเรด (LABCHEM) ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
3. อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) น้ำหนัก 2.5 กรัม

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model: OZ-732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องควนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
6. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
7. เครื่องแยกเหวี่ยงตะกอน

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 350 มิลลิลิตร ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

2. เติมอะลูมิเนียมออกไซด์ น้ำหนัก 2.5 กรัม

3. เก็บตัวอย่างเริ่มต้น ของสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่เวลา 0 นาที เพื่อนำไปวัดค่าความเข้มข้นของสาร ละลายสีย้อมคองโกเรด และค่าซีโอดี ดังภาคผนวก ข

4. เปิดวาล์วที่ถังก๊าซออกซิเจน ให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตโอโซน และ ปรับอัตราการไหลให้เท่ากับ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที และเปิดเครื่องผลิตโอโซน

5. เก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมคองโกเรด ที่เวลา 2 6 10 15 20 30 40 60 90 และ 120 นาที และนำสารตัวอย่างไปทำให้ตกตะกอน

6. นำสารตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เก็บตัวอย่างสุดท้ายของสารละลายสีย้อมคองโกเรดไปวัดค่าซีโอดี

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1. ถึง ข้อ 7. อีกสองครั้ง โดยการทดลองครั้งที่หนึ่งไม่เติมสารอะลูมิเนียมออกไซด์และการทดลองครั้งที่สองไม่เติมก๊าซโอโซน ในการบำบัดเติมเพียงอะลูมิเนียมออกไซด์เท่านั้น

9. นำค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด และค่าซีโอดี ที่ได้จากแต่ละการทดลองมาเปรียบเทียบค่าการบำบัดสีของสารละลายสีย้อมคองโกเรด กับเวลาที่ใช้บำบัดสีของการทดลองทั้งสาม

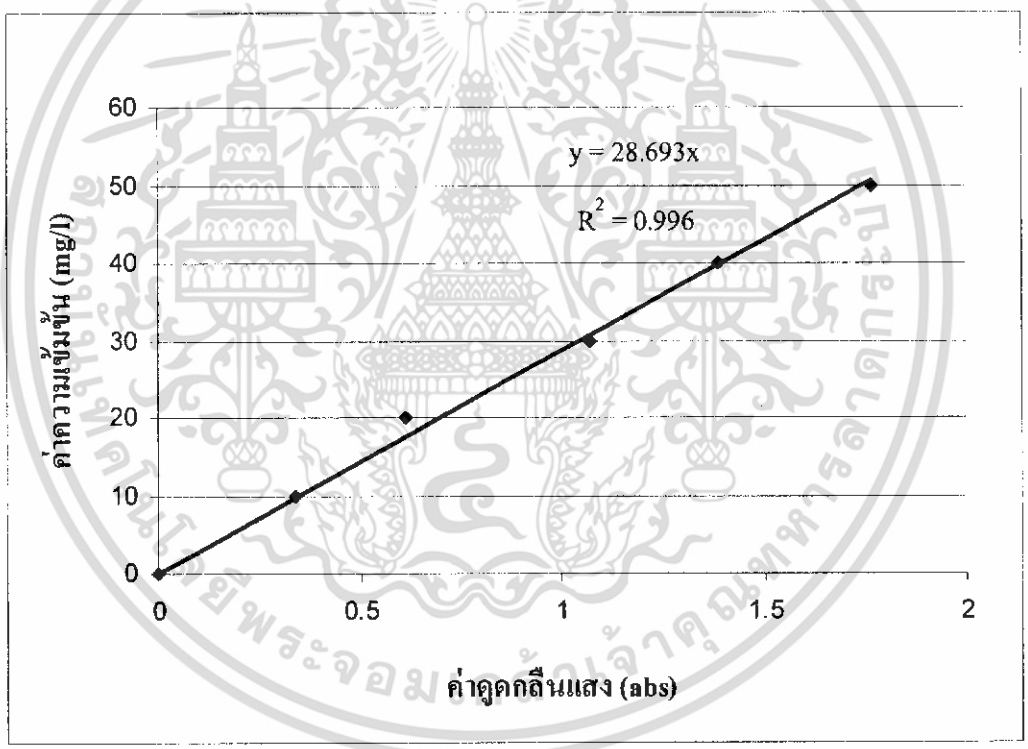
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นต่างๆ กันจะสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสารละลายสีคองโกเรด

ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดนั้นสามารถหาได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร จากรูปที่ 4.1 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

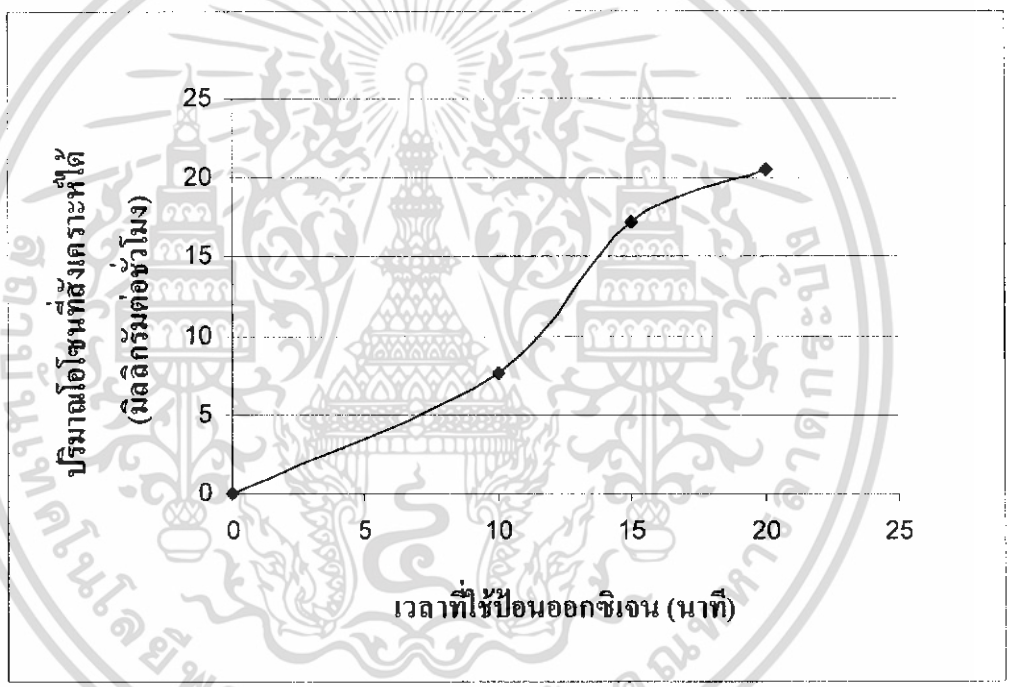
$$C_A = 28.693\,Abs \qquad (4.1)$$

เมื่อ Abs คือ ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 479 นาโนเมตร

C_A คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

4.2 การหาปริมาณก๊าซโอโซนที่สังเคราะห์ได้ในการทดลอง

จากรูปที่ 4.2 เป็นการหาปริมาณโอโซนที่สังเคราะห์ได้ในการทดลองโดยการป้อนออกซิเจนที่มีอัตราการไหล 1800 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณโอโซนที่สังเคราะห์ได้ในช่วงแรกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และมีปริมาณคงที่ที่เวลา 20 นาที โดยมีกำลังการผลิตเฉลี่ยเท่า 17.3 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง



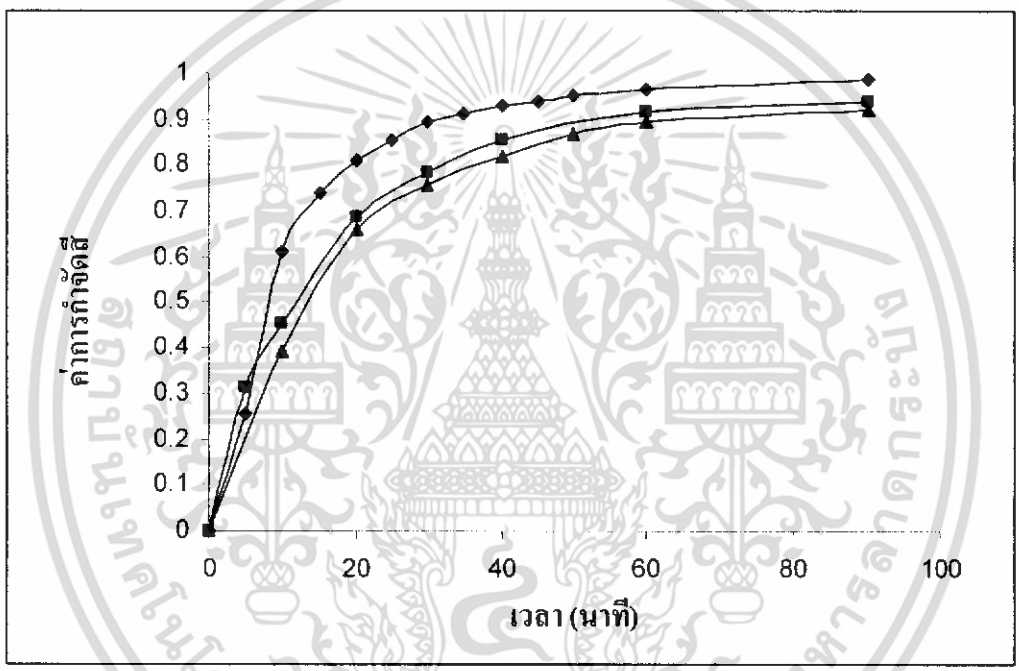
รูปที่ 4.2 ปริมาณโอโซนที่สังเคราะห์ได้ที่เวลาการป้อนออกซิเจนต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการกำจัดสี

จากการทดลองกำจัดสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกัน โดยใช้อัตราการป้อนออกซิเจนที่ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 พบว่าใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงในการกำจัดสารละลายสีย้อมได้โดยสมบูรณ์เมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นจะใช้เวลาในการกำจัดน้อยลง โดยปริมาณของสารประกอบ และอนุภาคแขวนลอยต่างๆ ในน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายของก๊าซโอโซน กล่าวคือถ้ามีสารประกอบและอนุภาคต่างๆ ในปริมาณมาก จะทำให้ปริมาณโอโซนละลายลดลง ทำให้ที่ความเข้มข้นสูงต้องใช้เวลาในการกำจัดสารละลายสีย้อมมากขึ้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการกำจัดสีกับเวลา ที่ใช้ในการกำจัดสีย้อม

◆ ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ■ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

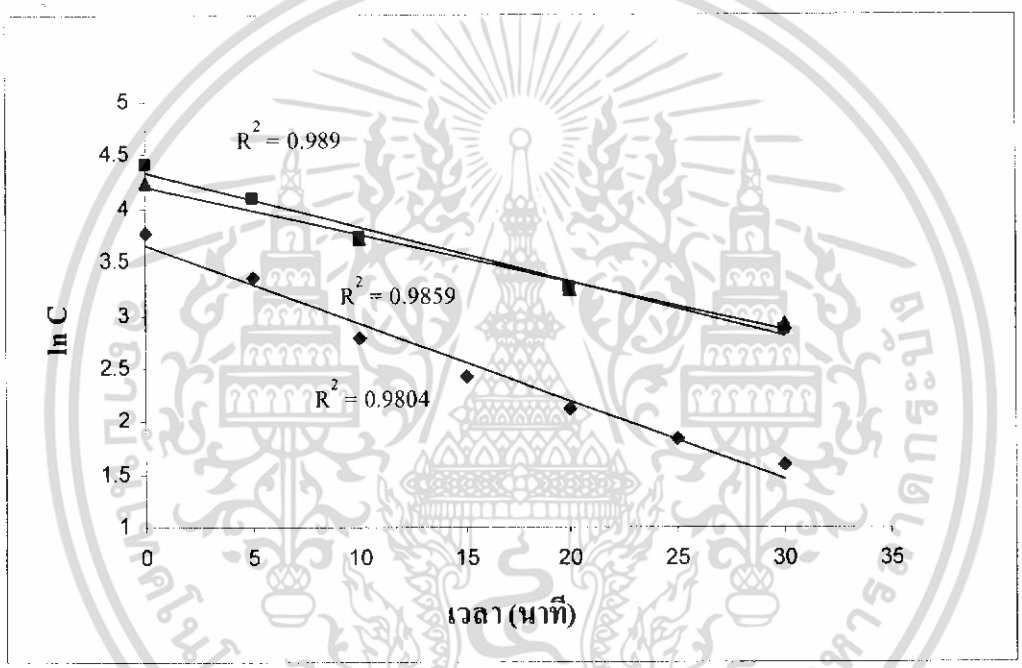
▲ ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 อันดับของปฏิกิริยาการลดลงของสี

4.4.1 การตรวจสอบอันดับของปฏิกิริยาเมื่อสมมติให้ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

จากรูปที่ 4.4 ในช่วง 30 นาทีแรก เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีย้อมสูง เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไป 30 นาที เป็นการเปลี่ยนแปลงเริ่มคงที่ เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln(C) กับเวลาในช่วง 30 นาทีแรก พบว่าได้ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง หรืออาจเรียกว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบเทียม (pseudo first order reaction) และจะเห็นได้ว่าแม้ความเข้มข้นของสีเริ่มต้นเปลี่ยนเป็น 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรก็ตาม ลักษณะของกราฟยังเป็นเส้นตรงเช่นเดิม



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสี ในช่วง 30 นาทีแรก

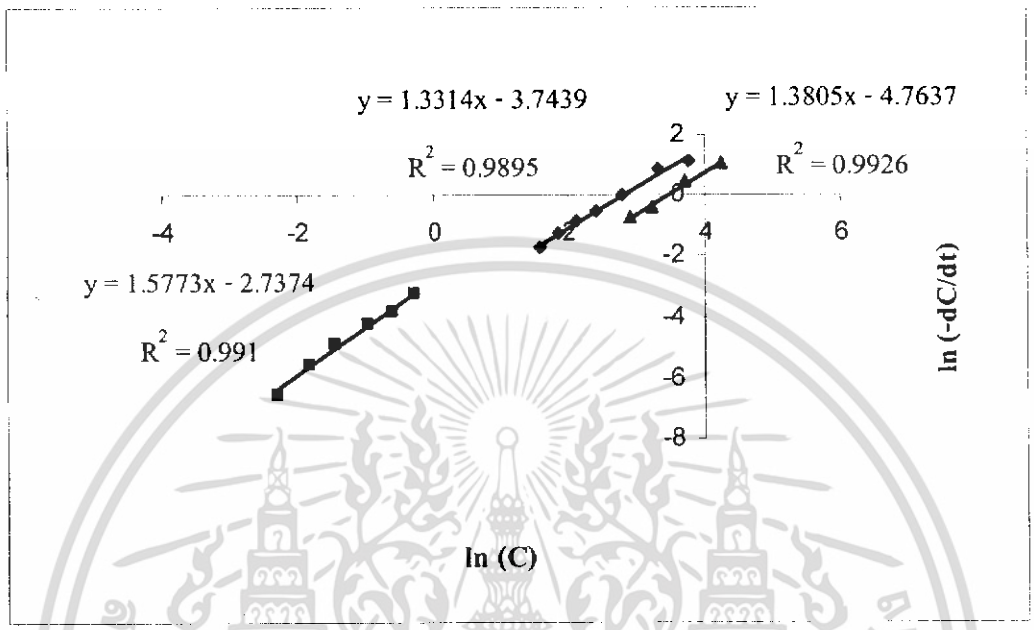
◆ ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ■ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

▲ ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การหาอันดับปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

จากรูปที่ 4.5 ในช่วง 30 นาทีแรก เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln(-dc/dt) กับเวลา พบว่าได้ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง ทั้งสามความเข้มข้นซึ่งที่ความเข้มข้น 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรการเกิดปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่มีอันดับมากกว่าหนึ่ง



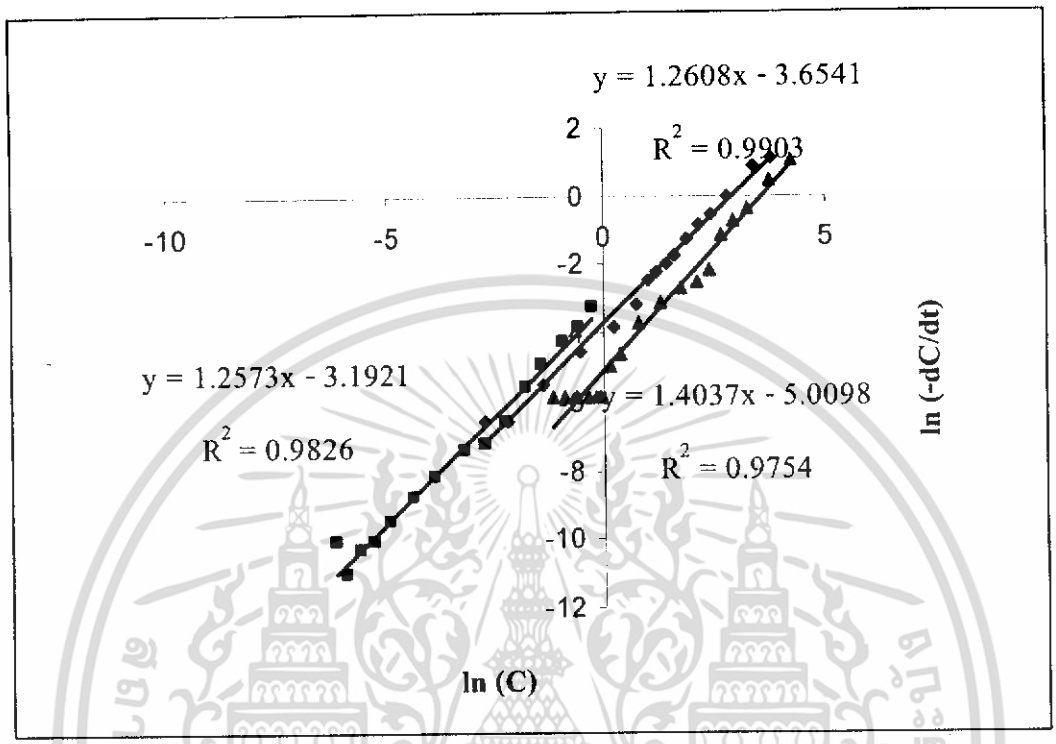
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสี ในช่วง 30 นาทีแรก

◆ ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ■ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

▲ ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln(-dc/dt) กับเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีทั้งหมด พบว่าได้ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงทั้งสามความเข้มข้นมีอันดับมากกว่าหนึ่งแต่อาจจัดเป็นการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบเทียม



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาที่ใช้ใน การกำจัดสีทั้งหมด

◆ ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ■ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

▲ ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

จะเห็นว่าในช่วง 30 นาทีแรกปฏิกิริยาการสลายตัวของสีเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งหรือปฏิกิริยาอันดับหนึ่งแบบเทียมโดยมีค่าคงที่ของปฏิกิริยาดังตารางที่ 4.1 โดยคำนวณจากรูปที่ 4.4

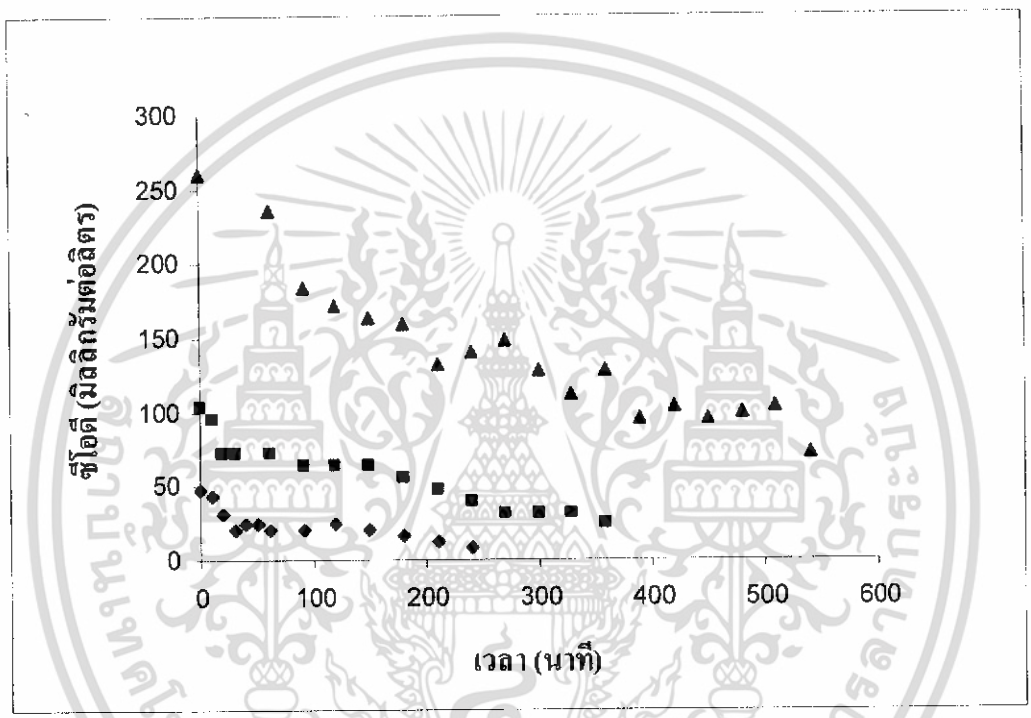
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการสลายตัวของสี

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (นาที$^{-1}$)
50	0.0734
100	0.0451
150	0.0515

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการลดลงของค่าซีโอดี

จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาการลดลงของค่าซีโอดีในสารละลายสีย้อม ถึงแม้มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่หมด อาจเนื่องจากพันธะเคมีของหมู่เอโซที่ทำให้เกิดสีสามารถสลายตัวได้อย่างสมบูรณ์ด้วยการออกซิไดซ์โดยโอโซน แต่โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ของสีย้อมที่มีอยู่ในสารละลายจะถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น กรดอะซิติก อัลดีไฮด์ และคีโตน รวมไปถึงคาร์บอนไดซ์ออกไซด์ และน้ำ [27]



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาในการกำจัดสีย้อมทั้งหมด

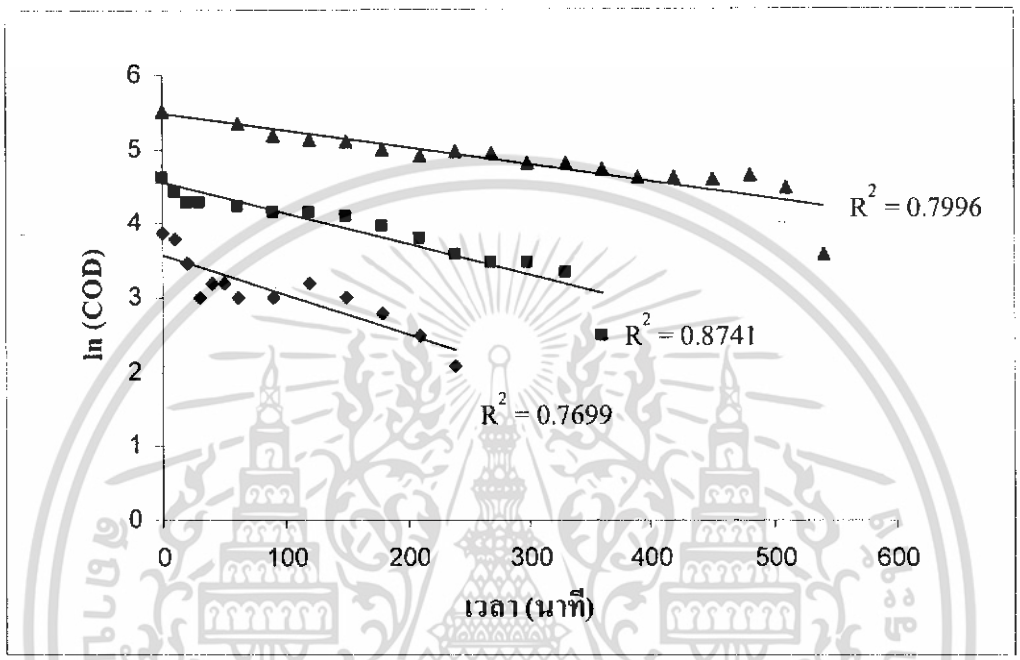
◆ ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ■ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

▲ ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การหาอันดับปฏิกิริยาการลดลงของซีโอดี

จากรูปที่ 4.8 เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln (COD) กับเวลาพบว่าปฏิกิริยาการลดลงซีโอดีไม่สามารถสรุปอันดับปฏิกิริยาได้ เนื่องจากปฏิกิริยาการลดลงของค่าซีโอดีเกิดปฏิกิริยาหลายขั้นตอนจึงไม่สามารถสรุปอันดับปฏิกิริยารวมได้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดที่ 50 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ เวลาในการกำจัดสีย้อมทั้งหมด

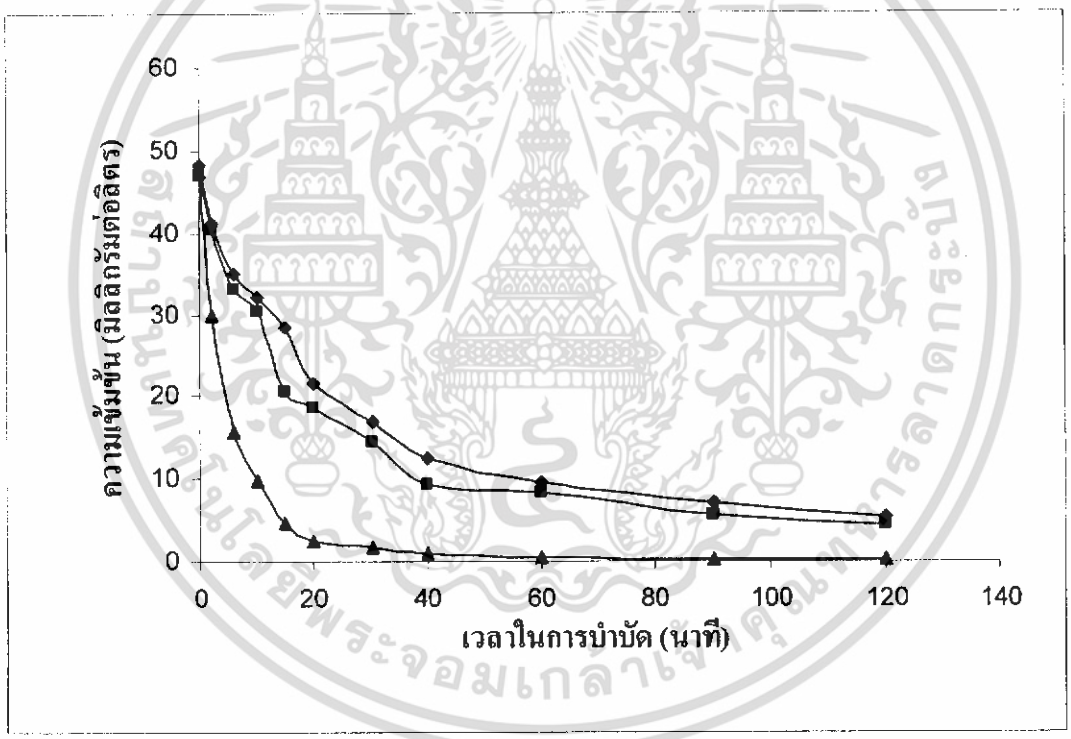
◆ ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ■ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

▲ ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อช่วยในการกำจัดสีย้อมคองโกเรด

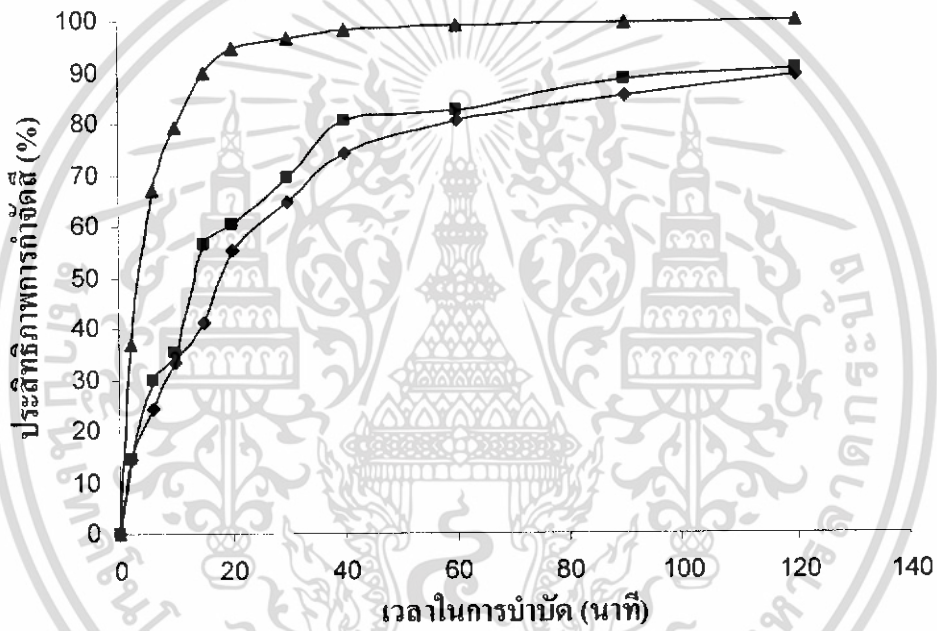
จากการศึกษาการบำบัดสีย้อมคองโกเรดที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรใน3 กรณีคือ การเติมโอโซน การดูดซับด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์โดยไม่มีการเติมโอโซน และกรณีการบำบัดด้วยวิธีโอโซเนชันและเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์ จากทั้ง 3 กรณี ศึกษาความเข้มข้นของสีย้อมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบทั้ง 3 กรณีที่เวลาการบำบัด 2 ชั่วโมงเท่ากันพบว่ากรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชัน และเติมสารอะลูมิเนียมออกไซด์ ทำให้ความเข้มข้นของสีย้อมสามารถลดลงได้มากที่สุด อาจเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของโอโซนควบคู่กับกระบวนการดูดซับด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ ทำให้ความเข้มข้นของสีย้อมลดลงอย่างรวดเร็ว ลำดับรองมาคือกรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชัน ส่วนกรณีเติมสารอะลูมิเนียมออกไซด์อย่างเดียวโดยไม่เติมโอโซนนั้นความเข้มข้นของสีย้อมลดลงได้น้อยที่สุดดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมกับเวลาในการบำบัดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ ■ กรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชัน ◆ กรณีที่เติมอะลูมิเนียมออกไซด์แต่ไม่มีการเติมโอโซน และ ▲ กรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชันและเติมอะลูมิเนียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีคองโกเรด ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร กับเวลาที่ใช้บำบัด 2 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่า ณ เวลา 20 นาที กรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชัน และเติมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมได้มากที่สุดถึงร้อยละ 95 สำหรับกรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชันมีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมได้ร้อยละ 60 และกรณีที่เติมตัวเร่งอะลูมิเนียมออกไซด์ มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมได้ร้อยละ 55 จะเห็นว่ากรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชันและเติมตัวเร่งอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกัน ทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ดีที่สุดที่เวลาการกำจัดเท่ากัน และใช้เวลาในการกำจัดสีย้อมลดลงที่ค่าของประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากัน ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารละลายสีคองโกเรดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร กับเวลาที่ใช้บำบัด โดยที่ ■ กรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชัน ◆ กรณีที่เติมอะลูมิเนียมออกไซด์แต่ไม่มีการเติมโอโซน และ ▲ กรณีที่บำบัดด้วยวิธีโอโซเนชันและเติมอะลูมิเนียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาร้อยละในการลดลงของซีโอดีพบว่าการเติมโอโซนร่วมกับการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ให้ค่าร้อยละการลดลงของซีโอดีสูงที่สุดถึงร้อยละ 61.9 ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละการกำจัดสี และร้อยละการลดลงของซีโอดีจากการบำบัดด้วยกรณีศึกษาต่างกันโดยใช้สารละลายสีคองโกเรดความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการบำบัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

กรณีที่ศึกษา	ร้อยละการกำจัดสี	ร้อยละการลดลงของซีโอดี
บำบัดด้วย Al_2O_3	88.9	42.9
บำบัดด้วยโอโซเนชัน	90.4	50.0
บำบัดด้วยโอโซเนชันและเติม Al_2O_3	99.5	61.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Talarposhti, A.M., Donnelly, T., Anderson, G.K., **Colour removal from a simulated dye wastewater using a two-phase ansreobic packed bed reactor.** Water Res., 35, 2001,425 - 432.

[2] Wu, J., Wang, T., **Ozonation of aqueous azo dye in a semi-batch reactor,** Water Res., 35, 2001, 1093-1099.

[3] **สมาคมอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสิ่งทอไทย.** กรุงเทพมหานคร: 2003-2004

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

[5] Available : **http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/CO/congo_red.html**

[6] นราวุธ ศรีจันทร์ และพัฒนศักดิ์ วานิช. **"การกำจัดสีย้อมชนิดเอโซในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโอโซเนชัน."**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547

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

[8] ณัฐวุฒิ รุ่งนิยม และวัชระ ประภาชัย. **"การบำบัดสีย้อมคองโกเรดในน้ำเสียสังเคราะห์โดยโอโซเนชัน."** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548

[9] Timothy R. Demmin, Ph.D., and Kevin D. Uhrich. A New Development For(Textile Mill) Wastewater Treatment. Andco Environmental Processes, Inc.Amherst, New York

[10] เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสันติสุข. **" การออกแบบเครื่องมือเพื่อกำจัดการปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียและฟังกัสในระบบการเตรียมส่วนประกอบโลหิต."** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538

[11] สุเมธ ชวเดช. **"การพัฒนากระบวนการออกซิเดชันโอโซนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย."** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[12] ดวงดาว สุขจิตต์ และจินตนา จันทร์ศิริวิไลกุล. **"การทำลายสารประกอบอินทรีย์ที่คงทนในน้ำเสียโดยใช้โอโซน."** ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539

[13] Andrew D. Eaton, joint editorial board ; Mary Ann H. Franson. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. DC : APHA, c2005

[14] Flogler, H. 1999. **"Element of Chemical Reaction Engineering."** 3 rd ed. New Jersey : Prentice Hall PTR.

[15] P.Aarne Vesilind and Susan M. Moggan "**Introduction Environment Engineering**" 2004, p.85

[16] สมชัย อัครทิวา . **" ความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมของปฏิกิริยาเชิงเร่ง "**กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป, 2546

[17] B. Legube and N. Karpel Vel Leitner. Catal. Today 53 (1999), p. 61.

[18] R. Gracia, J.L. Aragües, S. Cortés, J.L. Ovelleiro, in: Proceedings of the 12th World Congress of the International Ozone Association, Lille, France, 15–18 May 1995, p. 75

[19] F.J. Beltrán, J. Rivas, P. Álvarez and R. Montero-de-Espinosa. Ozone Sci. Eng. 24 (2002), p. 227

[20] Md. Mahbubul Hassan , Chirstopher J. Hawkyard , Department of Textiles, UMIST, P.O. Box 88, Sackville Street, Manchester M60 1QD, UK

[21] นราพร หาญวจนวงศ์ ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ และพิไลพรรณ ห้อสุวรรณ. **"การปรับปรุงคุณภาพน้ำหลังการบำบัดของโรงงานย้อมผ้าเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่".**วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 26 ฉบับที่ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด . 2546

[22] สุมล นิลรัตน์นิศากร, ไพทิพย์ ธีรเวชญาณ และวรนันต์ นาคบรรพต, 2547, **"การศึกษาศักยภาพของต้นธูปฤาษีในการบำบัดสี"** , การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30, 19-21 ตุลาคม, ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี, กรุงเทพฯ, หน้า 217.

[23] Thitinut Khumjai , Mathurot Chaiharn and Tapana Cheunbarn Department of biology, aculty of Science, Maejo University, Sunsai, Chiang Mai, 50290,Thailand

[24] Purkait MK, Maiti A, Dasgupta S,De S. Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati, Guwahati 781039, India.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[25] สหุนิล จิตติมา แก้วโบราณ สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี และมะลิ หุ่นสม. **"การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยวิธีPhoto-Fenton oxidation process"** ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[26] นิ้ม จงเทพ และคณะ. **"การดูดซับสารละลายสีย้อมคองโกเรดใช้วัสดุทางธรรมชาติ."** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547

[27] สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์ และ อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์. **"การกำจัดสีย้อมฟาสบลูบีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซเนชั่น."** วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมี

การเตรียมสารละลายทุกอย่างจะต้องใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากสิ่งเจือปน

1. วิธีเตรียมสารละลายสีย้อมคองโกเรดเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายสีย้อมคองโกเรดจำนวน 0.05 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เท่ากัน

2. วิธีเตรียมสารละลายสีย้อมคองโกเรดเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายสีย้อมคองโกเรดจำนวน 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เท่ากัน

3. วิธีเตรียมสารละลายสีย้อมคองโกเรดเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายสีย้อมคองโกเรดจำนวน 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เท่ากัน

4.วิธีเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์จำนวน 20 กรัม ในน้ำกลั่นละลาย แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ค่าซีโอดี

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เป็นการค่าวัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ โดยสารเคมีจะมีความสามารถในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรดในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีจากตัวอย่างบางชนิด สามารถหาค่าความสัมพันธ์กับค่าบีโอดี สารอินทรีย์คาร์บอน หรือสารอินทรีย์ต่างๆ เพื่อใช้ในการติดตามและควบคุมกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ วิธีรีฟลักซ์โดยใช้ไดโครเมทเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าการใช้สารออกซิแดนซ์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากความสามารถในการออกซิไดส์ใช้ได้กับตัวอย่างชนิดอื่นๆ และวิธีวิเคราะห์ง่าย ใช้เวลาสั้นประมาณ 3 ชั่วโมง ออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่างๆ ได้ประมาณ 95 ถึง 100% จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการดูแลควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

ความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสีย

การวิเคราะห์ค่าซีโอดีจะใช้ในการบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย คำนวณประสิทธิภาพการกำจัด ตรวจหาปริมาณอากาศที่ต้องเติมลงไปในถังเติมอากาศ และภาระสารอินทรีย์ที่เข้าระบบทางชีวะ ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

ค่าซีโอดีรวมถึงสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (วัดค่าบีโอดีไม่ได้) และสารพิษซึ่งยับยั้งการทดสอบซีโอดี ดังนั้นค่าซีโอดีจึงไม่สามารถวัดอัตราเร็วในการย่อยสลายทางชีววิทยาของน้ำเสียและน้ำในแหล่งน้ำได้ ค่าซีโอดีใช้ตรวจวัดความสกปรกของน้ำเสีย ซึ่งวิธีการจะแตกต่างจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี ข้อดีของการวิเคราะห์ซีโอดี คือ สามารถรู้ผลได้ในเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง จึงนิยมใช้ในการควบคุมดูระบบบำบัดน้ำเสีย

การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธี รีฟลักซ์แบบเปิดและวิธีรีฟลักซ์แบบปิด วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open reflux) สามารถใช้ได้กับของเสียชนิดต่างๆ ที่สามารถเก็บตัวอย่างจำนวนมากได้ ส่วนวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux) จะประหยัดกว่าในการใช้สารละลายเกลือโลหะ แต่ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีเนื้อเดียวกัน (Homogenous) มิฉะนั้นจะทำให้ได้ค่าที่คาดเคลื่อน ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ได้เลือกใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิดในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากมีความสะดวกกว่า เพราะใช้เวลาสั้นประมาณ 3 ชั่วโมง และประหยัดกว่าเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด แต่จะต้องผสมตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยให้เข้ากันให้ดีเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และวิธีนี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ระเหยได้มากกว่า เนื่องจากน้ำตัวอย่างสามารถสัมผัสกับสารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้นานกว่า เหมาะสมกับน้ำตัวอย่างที่มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข.1 ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ

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

การวิเคราะห์ซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ จะสามารถถูกออกซิไดส์ได้มากกว่าในระบบเปิด เพราะมีระยะเวลาในการสัมผัสกับสารออกซิไดส์ได้นานกว่า ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรตรวจดู ฝาปิดหลอดทดลองว่ามี รอยแตกตรงรอยต่อของฝาปิดหรือไม่ ฝาปิดของหลอดทดลองที่อาจเกิดการชำรุดในขณะทำการย่อยสลายในตู้อบ จะทำให้การปนเปื้อนและทำให้เกิดการสูญหายทางอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงควรที่จะต้องระมัดระวัง สำหรับการย่อยสลายในตู้อบจะใช้อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเลือกขนาดของหลอดทดลองขึ้นอยู่กับความไว (Sensitivity) ที่ต้องการ สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำควรใช้หลอดทดลองขนาด 25 × 150 มิลลิเมตร เพราะจะต้องใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดที่ใช้ในการย่อยสลาย (Digester vessels) ควรใช้หลอดแก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเกต ขนาด 20 × 150 มิลลิเมตร ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (TFE)

2. ขาตั้งใส่หลอดแก้วมีลักษณะเป็นกล่องอลูมิเนียมตัน ลึก 45 - 50 มิลลิเมตร มีรูขนาดพอดีกับหลอดแก้ว

3. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส การใช้ตู้อบต้องแน่ใจว่าการอบ 2 ชั่วโมง ที่ 150 องศาเซลเซียส จะไม่ทำให้ฝาหลอดแก้วเสียหาย

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย 0.1 N : ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) (ซึ่งอบแห้งที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) มา 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.H_2SO_4) 167 มิลลิลิตร และเติมเมอร์คิวริคซัลเฟต ($HgSO_4$) 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็น แล้วจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2. สารละลายกรดซัลฟิวริก : ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 5.5 กรัม ลงในซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 1 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1 - 2 วัน ให้ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) ละลาย

3. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ : ละลาย 1, 10 - ฟีแนนโทลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8H_2.N_2O$) 1.485 กรัม และซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

4. สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต : นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ($HOOC_6H_4COOK$) มาบด แล้วอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส ชั่งมา 0.425 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นและเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร โดยโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 1 กรัม มีความต้องการออกซิเจนทางเคมีเท่ากับ 1.176 กรัมออกซิเจน และสารละลายนี้จะมีซีโอดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

5. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต (FAS) 0.10 N : ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [$Fe(NH_4)_2(SO_4).6H_2O$] 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติมซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร นำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตทุกครั้งที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมคุณภาพ

1.วิเคราะห์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพลาเลต (KHP) เพื่อเช็คความถูกต้องของเทคนิคการวิเคราะห์ (KHP 0.425 กรัมต่อลิตร มีค่าซีโอดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2. สารเอฟเอเอส (FAS) ต้องถูกตรวจวัดความเข้มข้นที่ถูกต้องด้วยสารละลายมาตรฐานไดโครเมต

3. สารมาตรฐานต้องถูกอบแห้งในตู้อบก่อนชั่ง

4. กำจัดคลอไรด์ด้วยเมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$)

5. อัตราส่วนปริมาตรน้ำตัวอย่าง (รวมน้ำกลั่น) : ไดโครเมต : กรด = 5 : 3 : 7

ข้อควรระวัง

1. ผสมสารทุกอย่างให้เข้ากันก่อนให้ความร้อน เพราะถ้าเกิดชั้นของกรดที่ก้นขวดความต้องการออกซิเจนทางเคมีที่มีความร้อนจะทำให้ของผสมพุ่งออกมาได้

2. ถ้าใช้ตัวอย่างปริมาตรอื่นให้ใช้อัตราส่วนน้ำตัวอย่าง ปริมาตรและนอร์มัลลิตีของสารเคมี เพื่อให้ได้อัตราส่วนของตัวอย่างกับน้ำยาเคมีที่ถูกต้องตามตาราง ข.1

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต (FAS)

เติมสารเคมีทุกชนิดตามตาราง ข.1 ลงในหลอดแก้วทดลองตามขนาดที่ใช้ โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำทิ้งให้เย็นลง เติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย FAS

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

วิธีวิเคราะห์ซีโอดี

1.ใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่าง และสารเคมีตามตารางที่ ข.1 โดยเติมตัวอย่างน้ำลง ไปในหลอดแก้ว แล้วเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต สำหรับย่อยสลาย แล้วจึงค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้เกิดชั้นกรดอยู่ที่ก้นหลอดแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดี แล้วแกว่งขวดวนไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี (ถ้าค่าซีโอดีมีค่ามากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ลดปริมาตรน้ำตัวอย่างลง แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบตามตาราง ข.1)

2. นำหลอดแก้วใส่ลงใน ขาตั้งใส่หลอดแก้ว แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แล้วอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดฝาหลอดแก้วเทสารตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 1-2 หยดและไทเทรตด้วย 0.10 N FAS จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแดง (B)

4. ทำตัวอย่างเปรียบเทียบทุกครั้ง โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เหมือน ตัวอย่างน้ำ ดังแสดงแผนผังการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด [4]

การคำนวณ

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

เมื่อ COD = ซีโอดี

A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างเปรียบเทียบ

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตน้ำตัวอย่าง

N = นอร์มอลลิตี้ของ FAS

V = มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)
0	0
10	0.337
20	0.612
30	1.068
40	1.386
50	1.767

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรดเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	0	50.069	48
2	5	37.301	-
3	10	19.368	44
4	15	12.969	-
5	20	9.540	32
6	25	7.173	-
7	30	5.351	20
8	35	4.361	-
9	40	3.587	24
10	45	2.984	-
11	50	2.482	24
12	60	1.664	20
13	90	0.760	20
14	120	0.359	24
15	150	0.115	20
16	180	0.100	16
17	210	0.029	12
18	240	0.014	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	0	97.728	104
2	5	67.142	-
3	10	53.312	96
4	20	30.529	72
5	30	21.003	72
6	40	14.117	-
7	60	8.034	72
8	90	5.968	64
9	120	2.927	64
10	150	1.664	64
11	180	1.033	56
12	210	0.574	48
13	240	0.516	40
14	270	0.287	32
15	300	0.287	32
16	330	0.172	32
17	360	0	24
18	390	0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	0	86.940	260
2	10	52.939	-
3	20	29.525	-
4	30	21.003	-
5	40	15.580	-
6	50	11.535	-
7	60	9.210	236
8	90	6.800	184
9	120	4.218	172
10	150	2.755	164
11	180	1.549	160
12	210	1.291	132
13	240	0.947	140
14	270	0.861	148
15	300	0.775	128
16	330	0.603	112
17	360	0.603	128
18	390	0.603	96
19	420	0.430	104
20	450	0.344	96
21	480	0.258	100
22	510	0.258	104
23	540	0.086	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 กรณีที่เติม Al_2O_3 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี ร้อยละของการกำจัดสีและเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของการกำจัดสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	48.204		56
2	41.232	14.630	-
6	35.120	24.143	-
10	32.079	33.452	-
15	28.291	41.309	-
20	21.577	55.238	-
30	16.957	64.822	-
40	12.424	74.226	-
60	9.497	80.298	-
90	7.173	85.119	-
120	5.366	86.868	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 กรณีที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซน แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี ร้อยละของการกำจัดสี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของการกำจัดสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	47.042	-	48
2	40.300	11.331	-
6	33.040	29.765	-
10	30.386	35.407	-
15	20.544	56.328	-
20	18.564	60.537	-
30	14.367	69.459	-
40	9.268	80.298	-
60	8.250	82.462	-
90	5.538	88.227	-
120	4.520	90.392	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 กรณีที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนและเติม Al_2O_3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าซีโอดี ร้อยละของการกำจัดสี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของการกำจัดสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	47.530	-	42
2	29.955	36.977	-
6	15.710	66.947	-
10	9.799	79.383	-
15	4.777	89.949	-
20	2.554	94.626	-
30	1.722	96.377	-
40	1.011	97.873	-
60	0.609	98.719	-
90	0.301	99.366	-
120	0.236	99.508	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ปริมาณน้ำหนักของสีย้อมในการเก็บสารตัวอย่าง และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ปริมาณสารตัวอย่างที่เก็บ (มิลลิลิตร)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำหนักของสีย้อม (มิลลิกรัม)
1	0	16	50.069	0.80110
2	5	6	37.301	0.22380
3	10	16	18.368	0.29380
4	15	6	12.969	0.07780
5	20	16	9.540	0.15260
6	25	16	7.173	0.04300
7	30	16	5.351	0.08560
8	35	6	4.361	0.02620
9	40	16	3.587	0.05740
10	45	16	2.964	0.01780
11	50	16	2.482	0.03970
12	60	16	1.664	0.02660
13	90	16	0.760	0.01210
14	120	16	0.359	0.00057
15	150	16	0.115	0.00018
16	180	16	0.100	0.00016
17	210	16	0.029	0.00046
18	240	16	0.041	0.00022
			รวม	1.86720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ปริมาณน้ำหนักของสีย้อมในการเก็บสารตัวอย่าง และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ปริมาณสารตัวอย่างที่เก็บ (มิลลิลิตร)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำหนักของสีย้อม (มิลลิกรัม)
1	0	12	97.728	1.1727
2	5	2	67.142	0.0671
3	10	12	53.312	0.3199
4	20	6	30.529	0.1832
5	30	12	21.003	0.1260
6	40	2	14.117	0.0141
7	60	12	8.034	0.0482
8	90	6	5.968	0.0358
9	120	12	2.927	0.0176
10	150	12	1.664	0.0100
11	180	12	1.033	0.0062
12	210	12	0.574	0.0034
13	240	12	0.516	0.0031
14	270	12	0.287	0.0024
15	300	12	0.287	0.0017
16	330	12	0.172	0.0010
17	360	12	0.000	0.0007
18	390	12	0	0.0003
			รวม	3.0134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ปริมาณน้ำหนักของสีย้อมในการเก็บสารตัวอย่าง และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที)	ปริมาณสารตัวอย่างที่เก็บ (มิลลิลิตร)	ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำหนักของสีย้อม (มิลลิกรัม)
1	0	12	117.240	1.4069
2	10	2	57.329	0.1147
3	20	2	29.525	0.5090
4	30	2	18.421	0.0368
5	40	2	12.740	0.0255
6	50	2	10.674	0.0213
7	60	12	9.210	0.1105
8	90	12	5.337	0.0640
9	120	12	4.218	0.0506
10	150	12	2.754	0.0330
11	180	12	1.549	0.0186
12	210	12	1.291	0.0155
13	240	12	0.947	0.0114
14	270	12	0.861	0.0103
15	300	12	0.775	0.0093
16	330	12	0.689	0.0083
17	360	12	0.602	0.0072
18	390	12	0.516	0.0062
19	420	12	0.430	0.0052
20	450	12	0.344	0.0041
21	480	12	0.258	0.0031
22	510	12	0.172	0.0021
23	540	12	0.086	0.0010
			รวม	2.0246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

วิธีการคำนวณหาร้อยละการสูญเสียสารละลายสีย้อมคองโกเรดในตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

สารละลายสีย้อมคองโกเรดความเข้มข้น 50 100 และ150 มิลลิกรัมต่อลิตรในตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่เก็บไปวิเคราะห์หาค่าค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดและค่าซีโอดี

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

สารละลายสีย้อม คองโกเรดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตรการทดลองใช้สารละลายสีย้อมคองโกเรดปริมาตร 700 มิลลิลิตร

$$\frac{50\ \text{mg} \times 700\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}} = 35\ \text{mg}$$

ร้อยละการสูญเสียสารละลายสีย้อมคองโกเรด

ข้อมูลปริมาณน้ำหนักของสีย้อมคองโกเรดได้จากตาราง ง.1 เท่ากับ1.867 mg

$$\frac{1.867\ \text{mg} \times 100}{35\ \text{mg}} = 5.33\ \%$$

และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำหนักของสีย้อมคองโกเรดจากตาราง ง.2 และ ตาราง ง.3 จะได้

ร้อยละการสูญเสียสารละลายสีย้อมคองโกเรดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 4.3 %

ร้อยละการสูญเสียสารละลายสีย้อมคองโกเรดความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 1.93 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ปริมาณโอโซน

1. การไทเทรต

1.1 เมื่อทำการผ่านโอโซน ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ จะเกิดปฏิกิริยาเป็นสารละลายสีเหลืองใส นำสารละลายที่ได้มาไทเทรต กับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 โมลาร์ จนกระทั่งสีเหลืองหายไป

1.2 บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ เพื่อไปคำนวณหาปริมาณโอโซนต่อไป

2. การคำนวณหาปริมาณโอโซน

2.1) การออกซิไดซ์สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยโอโซน

2.2) การไทเทรตโดยใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1000 โมลาร์

วิธีการคำนวณปริมาณโอโซน [13]

จากปฏิกิริยาตามสมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.6)

$$O_3 + 2KI + H_2O \longrightarrow I_2 + O_2 + 2KOH \qquad (2.5)$$

ไม่มีสี สีเหลืองหรือสีส้ม

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6 \qquad (2.6)$$

สีเหลืองหรือสีส้ม ไม่มีสี

แสดงว่าการเกิดโอโซน 1 โมล ใช้ $Na_2S_2O_3$ 2 โมล

O_3 1 โมล $\longrightarrow$ $Na_2S_2O_3$ 2 โมล

O_3 48 กรัม $\longrightarrow$ $Na_2S_2O_3$ 2 โมล

ใช้ $Na_2S_2O_3$ 0.1000 โมลาร์ ในการไทเทรต

O_3 48 กรัม $\longrightarrow$ $Na_2S_2O_3$ 20 ลิตร

O_3 1 กรัม $\longrightarrow$ $Na_2S_2O_3$ $\frac{20}{}$ ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O_3 1 มิลลิกรัม $\longrightarrow$ $Na_2S_2O_3$ $\frac{1}{2.4}$ มิลลิลิตร

O_3 (มิลลิกรัม) = 2.4 × ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ 0.1000 โมลาร์ (มิลลิลิตร)

ดังนั้น O_3 (มิลลิกรัม) = 2.4 × ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ (มิลลิลิตร)

ตารางที่ ฉ.1 ปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1800 มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)	ปริมาณโอโซนที่สังเคราะห์ได้ (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)
1	10	0.5	7.2
		0.6	8.6
		0.5	7.2
2	15	1.2	17.3
		1.1	15.8
		1.3	18.7
3	20	1.4	20.0
		1.5	21.6
		1.4	20.0
4	30	1.4	20.0
		1.4	20.0
		1.5	21.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้