

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดน้ำเสียสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5  
โดยใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์  
TREATMENT OF REACTIVE BLACK 5 WASTEWATER  
USING POWDER ACTIVATED CARBON (PAC)  
AND HYDROGEN PEROXIDE (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)



T117203

ฉัตรวรา พรหมเมตตา  
ชุติกาญจน์ มุลวิจิตร  
ทัศนัวรรณ สุภารัตน์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....117203  
วัน,เดือน,ปี.....19 ก.ค. 2554

b.....12341575  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TREATMENT OF REACTIVE BLACK 5 WASTEWATER  
USING POWDER ACTIVATED CARBON (PAC)  
AND HYDROGEN PEROXIDE (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMANT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2010**

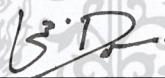

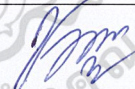
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การบำบัดน้ำเสียสี้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์  
TREATMENT OF REACTIVE BLACK 5 WASTEWATER USING POWDER ACTIVATED CARBON (PAC) AND HYDROGEN PEROXIDE (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

ชื่อนักศึกษา นัศราร่า พรหมเมตตา  
ชุตติกาญจน์ มุลวิจิตร  
ทัศนัวรรณ สุภารัตน์

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชดอ จารุสุทธีรักษ์	
ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกรุ่นที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดน้ำเสียสีข้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
ชื่อนักศึกษา	ฉัตรวรา พรหมเมตตา ชุตिकाญจน์ มุลวิจิตร ทัศนัวรรณ สุภารัตน์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC) ในการดูดซับร่วมกับการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ในการออกซิไดซ์สีข้อม โดยความเข้มข้นของน้ำเสียสีข้อมเริ่มต้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการแปรผันค่าต่างๆดังนี้คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ 3, 6, 9 และ 12 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0, 0.025, 0.050 และ 0.080 มิลลิโมลาร์ ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0, 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ศึกษาผลของเวลาในการบำบัดที่ 1, 5, 20, 30, 40 และ 60 นาที ทำการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในการหาค่าการดูดกลืนแสงของสาร นอกจากนี้ยังทำการหา ความเข้มข้นของสีในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ซีไอดี บีไอดี และความเข้มสีในหน่วย ADMI (American Dye Manufactures Institute) ผลการศึกษาพบว่า พีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดสีข้อมคือ พีเอช 9 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.025 มิลลิโมลาร์ ปริมาณถ่านกัมมันต์ 10 กรัมต่อลิตร และเวลาในการบำบัด 20 นาที ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงถึง 99% เมื่อประเมินในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถลดสีในหน่วย ADMI ได้ถึง 96.7% น้ำที่ผ่านการบำบัดน้ำแล้วมีค่า  $BOD_5/COD$  เพิ่มขึ้นจาก 0.28 เป็น 0.39

**คำสำคัญ :** สีข้อม/ สีรีแอกทีฟแบล็ค 5/ การดูดซับ/ ถ่านกัมมันต์/ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Treatment of Reactive Black 5 Wastewater Using Powder Activated Carbon (PAC) and Hydrogen Peroxide (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
<b>Students</b>	Chatwara Prommetta Chutikarn Moolvichit Tasawan Suparat
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Environmental Resource Chemistry
<b>Academic Year</b>	2010
<b>Advisor</b>	Asst.Prof. Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

### ABSTRACT

The aim of this special project was study the optimum condition to treat reactive black 5 using powder activated carbon (PAC) to absorb and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) to oxidise. The initial concentration of synthetic wastewater was 100 mg/L. The initial pH of wastewater, amount of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, amount of PAC and treatment time were varied. UV-visible spectrophotometer was used to evaluate the treatment efficiency. From the experiments, the optimum pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> amount, PAC amount and treatment time were 9, 0.025 mM, 10 g/L and 20 minutes, respectively. The treatment efficiencies were 99% and 96.7% when evaluated in the unit of mg/L and ADMI, respectively. The BOD<sub>5</sub>/COD of the wastewater was increased from 0.28 to 0.39 after treated with the optimum condition.

**Keywords :** Reactive Dye/ Reactive black 5/Adsorption/ Activated Carbon / Hydrogen peroxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือและความกรุณาของทุกท่าน ผู้ทำโครงการพิเศษขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ซึ่งช่วยให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค กรรมการสอบหัวข้อ และโครงร่างโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนให้ข้อชี้แนะ จนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ ดร.ชานินทร์ ศรีสุวรรณนภา อาจารย์สาขาวิชาสถิติที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในเรื่องการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์

ขอขอบคุณบริษัทลีมิ่ง อินเทอร์เน็ต ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสีย้อม Reactive black 5 ที่ใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจที่ดีในการศึกษาตลอดมา ทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษาจนถึงปริญญาตรี

ฉัตรวรา พรหมเมตตา  
ชุติกานุญน์ มุลวิจิตร  
ทัศนวรรณ สุภารัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
คำย่อและสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 อุตสาหกรรมฟอกย้อม	3
2.2 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม	3
2.2.1 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม	4
2.2.2 ปัญหาเนื่องจากมีสีข้อมในน้ำเสีย	5
2.3 สีข้อม	6
2.3.1 ลักษณะทั่วไปของสีข้อม	6
2.3.2 การเกิดสีของสีข้อม	7
2.3.3 การตั้งชื่อสีข้อม	8
2.3.4 องค์ประกอบของสีข้อม	8
2.3.5 คุณสมบัติของสีข้อม	8
2.3.6 การจำแนกสีข้อม	9
2.4 สีข้อมรีแอกทีฟ	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 โครงสร้างและสมบัติของสีข้อมริแอกทีฟ	10
2.4.2 ความเป็นพิษของสีข้อม	11
2.5 การบำบัดน้ำเสียที่มีสีข้อมจากอุตสาหกรรมฟอกข้อม	12
2.5.1 วิธีการบำบัดทางกายภาพ	12
2.5.2 วิธีการบำบัดทางเคมี	14
2.5.3 วิธีการบำบัดทางชีวภาพ	14
2.6 กระบวนการดูดซับ	16
2.6.1 ประเภทการดูดซับ	17
2.6.2 กลไกการดูดซับ	17
2.6.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	18
2.7 ถ่านกัมมันต์	19
2.7.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	19
2.7.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสีย	20
2.8 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	21
2.8.1 คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	27
3.1.1 อุปกรณ์	27
3.1.2 สารเคมี	28
3.2 การบำบัดสีข้อม Reactive black 5 โดยใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$	28
3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	28
3.2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐาน	28
3.2.3 หาค่าซีไอดี บีไอดี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนการบำบัด	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 หาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสี้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$	28
3.2.5 หาค่าซีไอดี บีไอดี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI ของน้ำเสีย สังเคราะห์หลังการบำบัด	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	30
4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์	30
4.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสี้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$	30
4.2.1 การหาปริมาณ PAC ปริมาณ $H_2O_2$ และ pH ที่เหมาะสมในการ บำบัดสี้อม	30
4.2.2 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด	33
4.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในหน่วย ADMI	34
4.2.4 การศึกษาความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพของสี้อม	34
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์	42
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	54
ภาคผนวก ค การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสี้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดย การใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$ โดยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์	4
2.2 ลักษณะน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามชนิดของเส้นใย	5
2.3 การจำแนกสีย้อมในลักษณะที่ต่างกัน	9
2.4 สมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	22
2.5 ค่ารีดักชัน-ออกซิเดชัน ของสารออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ	23
ก-1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ที่ต้องเติม	43
ก-2 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ	46
ก-3 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในการหาค่า BOD	50
ก-4 การวัดค่า %T ที่ความยาวคลื่นต่างๆ	52
ข-1 ปริมาณความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่พีเอช 3 เมื่อใช้ PAC และ $H_2O_2$ ในปริมาณต่างๆ	58
ข-2 ปริมาณความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่พีเอช 6 เมื่อใช้ PAC และ $H_2O_2$ ในปริมาณต่างๆ	59
ข-3 ปริมาณความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่พีเอช 9 เมื่อใช้ PAC และ $H_2O_2$ ในปริมาณต่างๆ	60
ข-4 ปริมาณความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่พีเอช 6 เมื่อใช้ PAC และ $H_2O_2$ ในปริมาณต่างๆ	62
ข-5 ค่าความเข้มข้นในหน่วย ADMI	63
ข-6 ปริมาณการวิเคราะห์ค่าซีไอดีก่อนและหลังการบำบัด	64
ข-7 ปริมาณการวิเคราะห์ค่าบีไอดีก่อนและหลังการบำบัด	65
ค-1 Between-Subjects Factors	68
ค-2 Between-Subjects Factors	69
ค-3 Tests of Between-Subjects Effects	71
ค-4 Dependent Variable: PAC	71
ค-5 Dependent Variable: $H_2O_2$	72
ค-6 Dependent Variable: pH	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-7 Dependent Variable: $H_2O_2$ * PAC * pH	72
ก-8 Dependent Variable: amount of PAC	74
ก-9 Dependent Variable: amount of $H_2O_2$	75
ก-10 Dependent Variable: amount of pH	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย	3
2.2 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ ผ้า ถัก	4
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ Reactive Black 5 (RB5)	11
2.4 กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์	19
2.5 ลักษณะรูพรุนของอนุภาคถ่านกัมมันต์ เมื่อสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำผ่านรู พรุนจะเกิดการดูดซับสารอินทรีย์ที่ผิวของรูพรุน	20
2.6 โครงสร้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ )	22
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L) โดยใช้ $H_2O_2$ 0 mM	31
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L) โดยใช้ $H_2O_2$ 0.025 mM	31
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L) โดยใช้ $H_2O_2$ 0.050 mM	32
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L) โดยใช้ $H_2O_2$ 0.080 mM	32
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและเวลา	33
ข-1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อม Reactive black 5	55
ข-2 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Reactive Black 5	56
ข-3 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Reactive Black 5	57
ค-1 Estimated Marginal Means of Efficiency	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์

RB5 (Reactive Black 5)	สี้อมชนิด รีแอคทีฟแบล็ค 5
COD (Chemical Oxygen Demand)	ค่าความต้องการออกซิเจน เพื่อใช้ในการออกซิไดส์ สารอินทรีย์ให้กลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ
g	กรัม
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
mL	มิลลิลิตร
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
nm	นาโนเมตร
PAC (Powder Activated Carbon)	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง
pH	พีเอช หรือ ระดับความเป็นกรดต่าง
%(w/v)	หน่วยความเข้มข้นของสารละลายเป็นร้อยละโดย น้ำหนักของตัวถูกละลายต่อปริมาตรของสารละลาย ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในระยะเวลาที่ผ่านมาประเทศไทยได้มีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมในทุกประเภท ในขณะที่เดียวกันปัญหาคับเนื่องมาจากการพัฒนาที่ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สิ่งทอเป็นหนึ่งในหลายอุตสาหกรรมที่ต้องให้ความสนใจ เนื่องจากก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการฟอกย้อมซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการใช้น้ำและก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก นอกจากนี้ยังเจือปนด้วยสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงอีกด้วย สีที่ใช้ในการฟอกย้อมมีเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ติดอยู่บนเนื้อผ้าประมาณร้อยละ 10-15 ของปริมาณสีที่ใช้จะหลุดปนออกมากับน้ำเสีย (วรวิทย์, 2542) สีย้อมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมักเป็นพิษ จากรายงานของ Hussain (1994) พบว่าอุตสาหกรรมฟอกย้อมในประเทศไทยมีการย้อมสีประเภทรีแอคทีฟมากที่สุด (Mallika, 1997) อย่างไรก็ตามพบว่ารีแอคทีฟทำการกำจัดออกจากน้ำเสียได้ยากกว่าสีย้อมชนิดอื่นๆ เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังสามารถละลายน้ำได้ดี การตกตะกอนทางเคมี และการบำบัดทางชีวภาพ เป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้บำบัดบีโอดี (BOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) และสี (Color) ออกจากน้ำเสีย อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพสามารถกำจัดสีออกจากน้ำเสียได้เพียงร้อยละ 20 เท่านั้น เนื่องจากสีย้อมส่วนใหญ่ไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Hussain, 1994) ที่ผ่านมามีผู้ทำการศึกษาถึงวิธีการกำจัดสีย้อมชนิดนี้อยู่มาก ซึ่งแต่ละวิธีต่างให้ผลในการบำบัดต่างกัน วิธีใช้คาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon) ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide,  $H_2O_2$ ) เป็นอีกทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดี และการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถช่วยในการออกซิไดซ์ให้พันธะเคมีของโมเลกุลสีแตกออกเป็นสารที่ไม่มีสีได้จากคุณสมบัติเหล่านี้ งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 (Reactive black 5) โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตลอดจนหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงและพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC) ร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ )

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อม Reactive black 5 โดยใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ศึกษา คือ น้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ชนิดรีแอคทีฟแบล็ค 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยแปรค่าต่างๆ ดังนี้

1.3.2.1 ค่าพีเอชแปรค่าที่ 3, 6, 9 และ 12

1.3.2.2 ปริมาณ  $H_2O_2$  แปรค่าที่ 0, 0.025, 0.050 และ 0.080 มิลลิโมลาร์

1.3.2.3 ปริมาณ PAC แปรค่าที่ 0, 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

1.3.2.4 ระยะเวลาในการเขย่าสารแปรค่าเวลาที่ 1, 5, 20, 30, 40 และ 60 นาที

1.3.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของสีในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ซีไอดี บีไอดี และ ความเข้มสีในหน่วย ADMI (American Dye Manufactures Institute)

1.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม โดยใช้ค่าการลดลงของความเข้มข้นของสีย้อมที่วัดได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด ( $\lambda_{max}$ )

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5

1.4.2 สามารถนำวิธีการนี้ไปบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอที่ใช้สีรีแอคทีฟแบล็ค 5 ได้

1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอที่ใช้สีย้อมชนิดอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อุตสาหกรรมฟอกย้อม

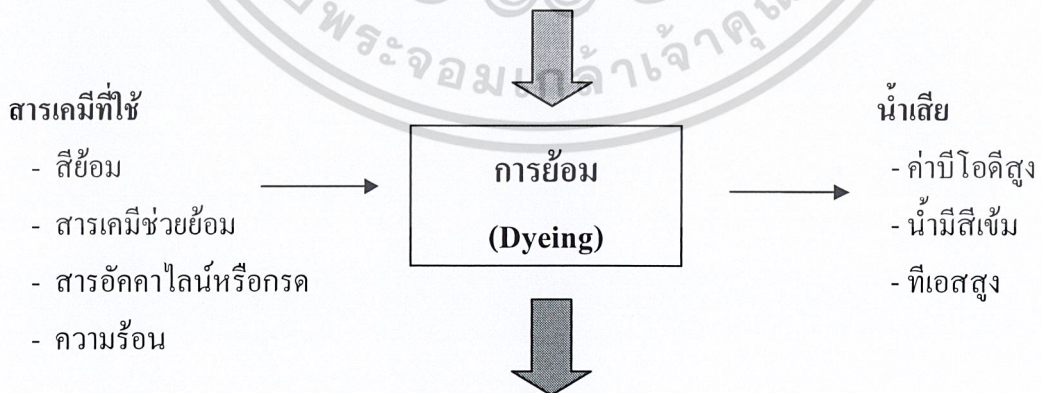
อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทย เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากเครื่องนุ่งห่มเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอที่อยู่ในรูปเส้นด้ายหรือผ้าดิบให้เป็นวัสดุสำเร็จรูปที่สามารถนำไปผลิตหรือจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคต่อไปได้

ประเภทของโรงงานฟอกย้อมสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภทได้แก่

1. กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย
2. กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ
3. กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก

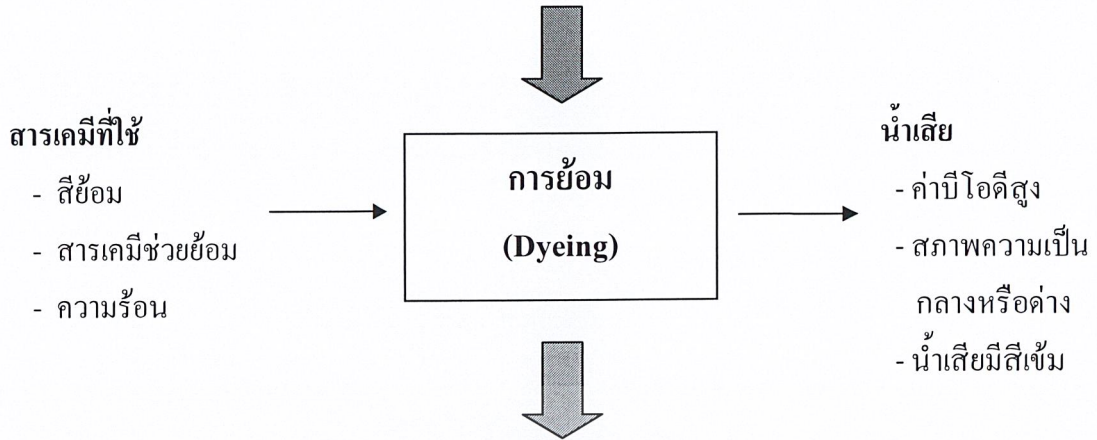
### 2.2 ลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

กระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนมีการใช้น้ำและสารเคมีหลายชนิดและมีปริมาณต่างกััน ส่วนน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตดังกล่าวจะกลายเป็นน้ำเสีย ซึ่งปนเปื้อนด้วยสารเคมีและสารอินทรีย์หลายชนิด น้ำเสียที่ออกมาจากขั้นตอนต่างๆในกระบวนการฟอกย้อม (ผ้าทอ) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (วรรณวรรณ, 2546)



รูปที่ 2.2 สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ ผ้าถัก (วรรณวรรณ, 2546)

2.2.1 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

จากการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างน้ำของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงตัก (Grab sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งได้ผลสรุปค่าต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.1 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	ลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด					จำนวนข้อมูล
	pH	BOD (มก./ล)	COD (มก./ล)	SS (มก./ล)	ปริมาณสี (Pt-Co)	
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าถัก	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	110	1200	140	670	41
ฟอกย้อมผ้าและผ้าอื่น ๆ	9.1	230	713	65	400	30

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542

หมายเหตุ : ค่าลักษณะของน้ำเสียที่แสดงเป็นค่าความน่าจะเป็นร้อยละเท่ากับหรือน้อยกว่า 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อจะได้ดำเนินการแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามชนิดของเส้นใย (ปิ่นสยาม, 2546)

Type of Fiber	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	Color (ADMI)
Not mentioned	10.5-11.0	600-950	1,380-1,750	-	-
Cotton yarn and sweater	10.4-12.85	-	1,400-5,145	34-332	203-3,533
Cotton	8.0-9.09	86-240	298-782	47-79	452-1,413
Not mentioned	5.3-8.1	90-250	3,500-5,000	35-45	15,200
Nylon	5.27-8-89	95-253	429-3,563	38-42	1,195-15,200
Not mentioned	9.3-10.3	-	500-1,345	-	3,186-16,890
<u>Polyester</u>					
Colored stream	8.1	206	5,318	44	1,598
Colorless stream	8.3	107	609	46	104
Stock and Yarn Finishing	-	250	800	75	-
Cotton, Polyester and Acrylic	4.21-10.5	196-1,342	418-4,145	0.27-370	122-3,186
Not mentioned	8.28	100	371	-	-
Not mentioned	6.6-8.1	165-445	473-1,200	32-265	3,020-9,500

### 2.2.2 ปัญหาเนื่องจากมีสีขุ่นในน้ำเสีย

ผลกระทบจากการปนเปื้อนของสีขุ่นที่มาจากน้ำทิ้งของโรงงานย้อมผ้า พอที่จะสรุปได้ว่าผลกระทบที่มีต่อแหล่งน้ำธรรมชาติขึ้นอยู่กับ (อภิชาติ, 2538)

1. ความเข้มข้นของสีขุ่นในน้ำเสีย โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0-200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. อัตราการไหลของน้ำเสีย
3. ขนาดของแหล่งน้ำธรรมชาติ
4. คุณภาพแหล่งน้ำธรรมชาตินั้นๆ เช่น ออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น

ปัญหาหลักของน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสีขุ่น คือ สีที่ขัดขวางการเดินของแสงในน้ำ แม้ว่าแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีขนาดใหญ่เพียงใดก็ตาม เนื่องจากสีขุ่นสามารถสะสมได้ในน้ำ (Kuo, 1992) การทิ้งน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีขุ่นนอกจากจะทำให้ทัศนียภาพในแหล่งน้ำไม่สวยงามแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีในน้ำยังเป็นตัวขัดขวางการส่องแสงซึ่งมีผลต่อการสร้างออกซิเจนในน้ำ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางชีวะในน้ำโดยตรง

สีข้อมที่ถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำบางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำ ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและสีข้อมบางชนิดเป็นพิษโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำด้วย (Ajmal and Khan, 1992)

ปัญหาที่เกิดจากสีข้อมในน้ำที่จากโรงงานฟอกข้อมมีดังนี้

1. เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ
2. สีข้อมที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำน้อยลง
3. ขัดขวางการเดินทางของแสง ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช
4. การผลิตออกซิเจนลดลงทำให้มีผลต่อสัตว์น้ำอันเป็นผลมาจากข้อ 3.
5. ความเป็นพิษของตัวสีข้อม

จากข้อ 1- ข้อ 5 ส่งผลให้สภาวะของแหล่งน้ำไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และทำให้มนุษย์ไม่สามารถนำน้ำในแหล่งน้ำนั้นมาใช้อุปโภคและบริโภคได้

## 2.3 สีข้อม

### 2.3.1 ลักษณะทั่วไปของสีข้อม

สีข้อมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สีข้อมธรรมชาติ และสีข้อมสังเคราะห์ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงสีข้อมสังเคราะห์ซึ่งมีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สีข้อมสังเคราะห์เป็นสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน เมื่อผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอน เพื่อเปลี่ยนสภาพจากสารไฮโดรคาร์บอนไปเป็นสารตัวกลาง (Intermediates) และสารตัวกลางนี้จะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นสีข้อมด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีของแต่ละบริษัทที่ผลิตสี เพื่อที่จะได้สีข้อมชนิดต่างๆ ทั้งนี้ ขึ้นกับเส้นใยที่จะนำมาข้อมตลอดจนกระบวนการข้อม ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสีที่ติดคงทน ทนต่อแสงแดด ทนต่อการซักล้าง

การที่จะนำสีข้อมใดๆมาใช้ข้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ เราจะสามารถทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้เมื่อโมเลกุลของสีข้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดกันแน่น อาจกล่าวได้อย่างกว้างๆว่าอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิด (อัจฉราพร, 2547) ที่ทำให้สีย้อมติดกับเส้นใยได้คือ

1. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)
2. แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Wals forces)
3. แรงไอออนิก (Ionic forces)
4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent bone)

การติดกันระหว่างโมเลกุลของเส้นใย จะต้องประกอบด้วยแรง 2 แรงขึ้นไป บางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน แต่แรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ อิทธิพลของรูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีย้อมก็มีผลต่อการยึดติดหรือมีผลต่อการย้อมเป็นอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบน และมีความกว้างความยาวมากๆ จะทำให้เกิดการติดสีที่มีความคงทนสูงมากขึ้น

### 2.3.2 การเกิดสีของสีย้อม

สีที่ตาของมนุษย์ปกติมองเห็นได้เกิดจากการจัดเรียงตัวของอะตอมกลุ่มหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ (Chromophores) มีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) :  $-\text{NO}$  (หรือ  $=\text{N}-\text{OH}$ )
2. กลุ่มไนโตร (Nitro Group) :  $-\text{NO}_2$  (หรือ  $=\text{NO}.\text{OH}$ )
3. กลุ่มเอโซ (Azo Group) :  $-\text{N}=\text{N}-$
4. กลุ่มเอทีลีน (Ethylene Group) :  $>\text{C}=\text{C}<$
5. กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) :  $>\text{C}=\text{O}<$
6. กลุ่มคาร์บอนิลไนโตรเจน (Carbonyl-nitrogen Group) :  $>\text{C}=\text{NH}$  และ  $-\text{CH}=\text{N}-$
7. กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulfur Group) :  $>\text{C}=\text{S}$  และ  $-\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{C}-$

สีย้อมโดยทั่วไปนอกจากจะมีกลุ่มโครโมฟอร์แล้วยังจะต้องมีกลุ่มออกโซโครม เพื่อให้สีย้อมสามารถทำปฏิกิริยายึดติดกับเส้นด้ายได้ กลุ่มออกโซโครมที่สำคัญ ได้แก่  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{NHR}$ ,  $-\text{SO}_2$  และกลุ่ม  $-\text{COOH}$  โมเลกุลที่ไม่มีกลุ่มออกโซโครมจะแสดงคุณสมบัติของสีแต่จะขาดความสามารถในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวเรียกว่า โครมาเจน ทั้งกลุ่มโครโมฟอร์ ออก

โซโครมและโครมาเจน เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาแบ่งกลุ่มของสีย้อมตามสูตรโครงสร้างทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าเคมี (ธงชัย, 2527)

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 การตั้งชื่อสีย้อม

สมาคมผู้ประกอบการย้อมสี American Association of Textile Chemists and Colorists ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ Society of Dye and Colorists ในประเทศอังกฤษ ได้ร่วมกันจัดทำทะเบียนรายชื่อสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดขึ้นเรียกว่า Color Index โดยตั้งชื่อให้กับสีแต่ละตัว เรียกว่า C.I. Generic Name โดยมีองค์ประกอบดังนี้

C.I. + ชื่อประเภทของสี + เฉดสี + หมายเลขลำดับ

โดยที่ประเภทของสีแบ่งออกเป็น 15 ประเภท คือ Acid, Azoic, Direct, Disperse, Fluorescent brighteners, Food, Ingrain, Leather, Mordant, Oxidation, Pigment, Reactive, Vat, Solvent และ Sulphur ส่วนเฉดสีแบ่งออกเป็น 8 เฉดสี คือ สีเหลือง สีส้ม สีแดง สีม่วง สีฟ้า สีเขียว สีน้ำตาล และ สีดำ (ราตรี, 2543)

### 2.3.4 องค์ประกอบของสีย้อม

สีย้อมเป็นสารอินทรีย์ มีโครงสร้างทางเคมีแบ่งออกเป็น 2 หมู่ (กมลรัตน์, 2539) คือ

1. หมู่โครโมฟอร์ (Chromophores group) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่สามารถให้สี โดยการดูดกลืนรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ต และช่วงที่มองเห็นได้ ตั้งแต่ 200 – 800 นาโนเมตร ตัวอย่างของหมู่โครโมฟอร์ ได้แก่ Ethylenic Chromophores (C=C), Carbonyl Chromophores, (C=O) Nitroso Chromophores (-N=O), Nitro Chromophores (-NO<sub>2</sub>) และ Azo Chromophores (-N=N-)

2. หมู่ออกโซโครม (Auxochrome group) เป็นกลุ่มที่ทำให้สีย้อมเกาะติดกับเส้นใย โดยทั่วไปหมายถึง Saturated group ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และไม่สามารถดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่นเกิน 200 นาโนเมตร แต่เมื่อนำไปเกาะในตำแหน่งที่ติดกับหมู่โครโมฟอร์ จะทำให้เกิด Resonance intereaction ทำให้โครโมฟอร์ดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น ตัวอย่างของออกโซโครม ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) และ หมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) เป็นต้น

### 2.3.5 คุณสมบัติของสีย้อม

สีย้อมแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปในสภาพสารละลายหรือสารแขวนลอย เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ การรวมตัวในสารละลาย การย่อยสลายในระหว่างการย้อมสี อัตราการเกิดปฏิกิริยาการให้และรับอิเล็กตรอน สำหรับโครงสร้างทางเคมีของสีแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ชนคดีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติของสีดังนี้  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความเหมาะสมต่อเส้นใยชนิดหนึ่งๆจะขึ้นอยู่กับอนุมูลของเส้นใยและสีย้อม
2. ความสามารถที่เข้ากันได้ดีกับเส้นใยหนึ่งๆ
3. จลนพลศาสตร์ของสีย้อม
4. คุณสมบัติการเคลื่อนตัวและความสม่ำเสมอของสี
5. ความทนต่อแสง
6. ความทนต่อความชื้น
7. ความทนต่อความร้อน

การเลือกสีย้อมต้องเลือกตามชนิดของวัตถุที่ย้อม มีความคงทนพอที่สามารถย้อมออกมาได้เหมือนสีตัวอย่างและมีราคาถูก

### 2.3.6 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมสามารถจำแนกออกได้จาก ลักษณะการใช้งาน ลักษณะทางกายภาพ และชนิดเส้นใย ที่นำไปย้อมสี ดังตารางที่ 2.2

### ตารางที่ 2.3 การจำแนกสีย้อมในลักษณะที่ต่างกัน (เจตนิพิฐ และคณะ, 2552)

ลักษณะการใช้งาน	ลักษณะทางกายภาพ		ชนิดเส้นใยที่นำไปย้อมสี
	ชนิดที่ละลายน้ำ	ชนิดที่ไม่ละลายน้ำ	
สีย้อมแอซิด	สีย้อมแอซิด	สีย้อมเอโซ	สีย้อมฝ้าย
สีย้อมเบสิก	สีย้อมเบสิก	สีย้อมดิสเพอร์ส	- สีย้อมไคเร็กซ์
สีย้อมไคเร็กซ์	สีย้อมไคเร็กซ์	สีย้อมแวก	- สีย้อมรีแอคทีฟ
สีย้อมเอโซ	สีย้อมรีแอคทีฟ	สีย้อมมอร์แดนท์	- สีย้อมแวก
สีย้อมดิสเพอร์ส		สีย้อมซัลเฟอร์	- สีย้อมซัลเฟอร์
สีย้อมรีแอคทีฟ			สีย้อมโพลิเอสเทอร์
สีย้อมแวก			- สีย้อมดิสเพอร์ส
สีย้อมมอร์แดนท์			สีย้อมไนลอน
สีย้อมซัลเฟอร์			- สีย้อมแอซิด
สีย้อมโซลเวนท์			- สีย้อมเมทัลคอมเพล็กซ์
			สีย้อมอะคริลิก
			- สีย้อมเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive dyes)

สีย้อมรีแอคทีฟ หมายถึง สีย้อมซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาเคมีเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยสีย้อม หมายถึง สารที่ให้สีที่สามารถจับติดวัสดุด้วยตนเอง หรือด้วยการชักนำโดยปฏิกิริยาในกระบวนการย้อมหรือกระบวนการพิมพ์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) หรือหมายถึงสีย้อมที่สามารถเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอม หรือ โมเลกุลคาร์บอนหรือฟอสฟอรัสของสีย้อมกับออกซิเจนในหมู่ไฮดรอกซิล ไนโตรเจนในหมู่อะมิโน หรือซัลเฟอร์ในหมู่ Mercapto ของเส้นใย (Jones, 1973) สีย้อมรีแอคทีฟใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสมีหลายโทนสี ในการศึกษาถึงวิธีการกำจัดจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติและลักษณะพื้นฐานของสี เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสีในน้ำและวิธีการที่จะนำมาใช้บำบัดต่อไป

### 2.4.1 โครงสร้างและสมบัติของสีย้อมรีแอคทีฟ

สีย้อมรีแอคทีฟเป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี โมเลกุลของสีประกอบด้วยส่วนที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา (Reactive Group) สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส มีหมู่ Labile ที่ไม่เสถียร ได้แก่หมู่  $-Cl$  หรือ  $-O-SO_3Na$  ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้สีย้อมรีแอคทีฟสามารถสร้างพันธะโควาเลนต์กับเซลลูโลสได้

สีย้อมรีแอคทีฟมีอยู่หลายชนิด สามารถจัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 กลุ่ม ตามประเภทของกลุ่มเคมี ได้แก่ กลุ่มไวนิลซัลโฟน (Vinyl Sulfone) และกลุ่มรีแอคทีฟแอซิดคลอไรด์ (Reactive Acid Chloride) (Kulkarni, et al., 1986) โดยชนิดที่นิยมใช้กันมากเรียงตามความสามารถในการทำปฏิกิริยา ได้แก่

1. Dichlorotriazine
2. Dichloroquinoline
3. Vinyl-sulfone
4. Monochlorotriazine
5. Chloropyrimidine
6. Acryloylamino Type

กลุ่มเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นสีย้อมรีแอคทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม (Shore, 1995)

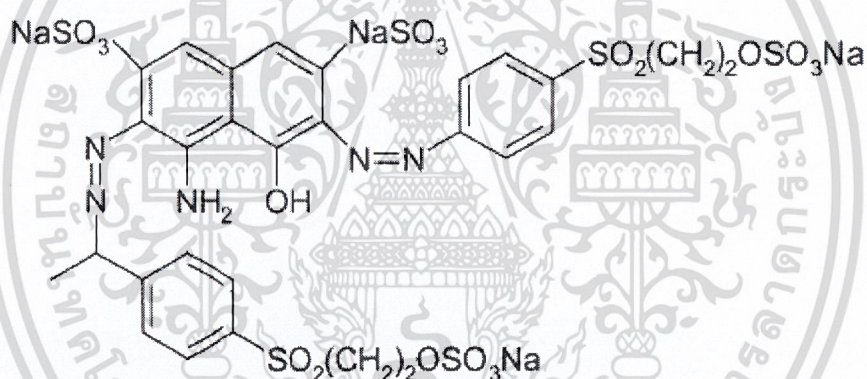
สามารถแสดงเป็นโครงสร้างได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## S - D - T - X

- เมื่อ S = Solubilising group คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง และเป็นกลุ่มที่ติดอยู่กับ โครริฟออร์ (Chromophoric group)
- D = Chromophoric group เป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดสี (Chromophoric) และสร้างการยึดเกาะ (substantivity) กับเส้นใยเซลลูโลส
- X = Reactive system เป็นกลุ่มที่ทำให้สีเชื่อมเกิดปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซี (OH) ของเส้นใย
- T = Bridging group เป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง Reactive system กับ Chromophore เช่น หมู่ -NH, -NHCO, -SO<sub>2</sub>, -NHSO<sub>3</sub> และ -NCH<sub>3</sub> เป็นต้น

ตัวอย่างสูตรโครงสร้างสีเชื่อม Reactive Black 5 แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ Reactive Black 5 (RB5) (Andrea, et al., 2003)

#### 2.4.2 ความเป็นพิษของสีเชื่อม

อัจฉรา ไสลสุด (2547) กล่าวว่า ระดับการทำปฏิกิริยาของสีขึ้นอยู่กับสาเหตุ 3 ประการ คือ

1. อัตราส่วนของค่าคงที่ของปฏิกิริยาของสีกับเซลลูโลสและน้ำ
2. ความเข้มข้นพิกซ์ของหมู่เคมีที่ไอออนไนส์ได้ภายในและภายนอกเส้นใย
3. ความเข้มข้นพิกซ์ระหว่างตัวสีรีแอคทีฟภายในและภายนอกของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความสามารถในการดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใยของสีย้อมขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของการดูดติด
2. อิทธิพลของปริมาณน้ำ
3. อิทธิพลของอุณหภูมิ
4. อิทธิพลของปริมาณอิเล็กโทรไลต์
5. อิทธิพลของค่า pH
6. อิทธิพลของเส้นใย

## 2.5 การบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

น้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตนั้น ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของสีย้อมและสารเคมีต่างๆ ที่เหลือจากกระบวนการฟอกย้อม ทำให้ลักษณะน้ำเสียเป็นที่น่ารังเกียจ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ทัศนียภาพขาดความสวยงาม แต่ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) กำหนดให้สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจ น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมจึงต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมและสารเคมี ส่วนมากจะต้องบำบัดในขั้นต้นก่อน เช่น การตกตะกอนทางเคมี การออกซิเดชันทางเคมี การดูดซับ และการใช้เยื่อกรอง เป็นต้น เนื่องจากน้ำเสียที่ออกมามีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพ จากนั้นจึงบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพต่อไป ซึ่งการบำบัดที่กล่าวมาจะกล่าวถึงรายละเอียดดังนี้

### 2.5.1 วิธีการบำบัดทางกายภาพ

#### 2.5.1.1 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับ ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1,200 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบน

ถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน (กรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าอุตสาหกรรม, 2542)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1.2 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology)

กระบวนการกำจัดสีย้อมด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีและสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้ (Koltuniewicz and Drioli, 2008)

#### 1. ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration)

ใช้ในการกำจัดสีย้อม ที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง โดยใช้กำจัดสีย้อมคิสเพอร์สที่สีย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ และสีย้อมซัลเฟอร์ สีย้อมแวกซ์ และสีย้อมอะโซอิกที่สีย้อมเส้นใยฝ้าย และวิสคอส (Viscose)

#### 2. การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้กำจัดไอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish Water) และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล (Sea Water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกจะสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือ จะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามสีย้อมที่สีย้อมเส้นใยประเภทฝ้าย เช่น สีย้อมรีแอคทีฟ สีย้อมไคเร็กซ์ และสีย้อมแวกซ์ เป็นต้น ไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

#### 3. ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic Membrane)

ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่น เหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอน หรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ Hydrus zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคริลิก (Zr / PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

#### 4. นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมรีแอคทีฟที่สีย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอคทีฟต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 วิธีการบำบัดทางเคมี

### 2.5.2.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

เป็นกระบวนการบำบัดที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้น ก่อนกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์รัสคลอไรด์ หรือเพอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสี โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม เป็นการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

### 2.5.2.2 การออกซิเดชันทางเคมี

โดยทั่วไปโมเลกุลสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ เป็นพวกวงเบนซีนกับพันธะคู่ หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้นการที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้น ต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการบำบัดสีโดยใช้วิธีออกซิเดชันทางเคมี เป็นวิธีใช้กันมานานและนิยม เนื่องจากสามารถบำบัดสีในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัด ซึ่งวิธีการออกซิเดชันทางเคมี มีอยู่หลายวิธี เช่น การออกซิเดชันด้วยโอโซน การออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การใช้รังสีอัลตราไวโอเลต และการใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นต้น

## 2.5.3 วิธีการบำบัดทางชีวภาพ

ในบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยวิธีทางชีวภาพจะทำต่อเนื่องจากการบำบัดทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งการบำบัดทางชีวภาพนี้เป็นการบำบัดสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเองได้ โดยมีอยู่ด้วยกันหลายระบบ เช่น ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ ระบบตะกอนเร่ง ระบบโปรยกรอง และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ เป็นต้น แต่ที่นิยมกันได้แก่ ระบบปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ และระบบตะกอนเร่ง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) ซึ่งมีรายละเอียดและหลักการดำเนินงานดังนี้

### 2.5.3.1 ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ โดยใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน จุลินทรีย์ในบ่อจะมีทั้งที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ระบบบ่อปรับเสถียรแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บ่อมีออกซิเจน (Aerobic Pond) เป็นบ่อที่มีความลึกประมาณ 0.5 – 1.0 เมตร ดังนั้นแสงแดดจึงส่องผ่านตลอดความลึกของบ่อ ทำให้สาหร่ายเติบโตได้ดี น้ำในบ่อจึงมีอากาศ จุลินทรีย์ในบ่อจึงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ ทำให้ความสกปรกในน้ำเสียดลง แต่การเติมอากาศของระบบมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จึงถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจน ทำให้อัตราการย่อยสลายเป็นไปได้ช้า จึงต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก

2. บ่อกึ่งไร้ออกซิเจน (Facultative Pond) ระบบนี้มีความลึกกว่าระบบแรก ทำให้แสงแดดส่องผ่านไม่ตลอดความลึกของบ่อ ทำให้ช่วงบนของความลึกเป็นสภาพแบบ Aerobic Pond แต่ช่วงล่างของความลึกเป็นแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Pond) จุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ แล้วแปรสภาพเป็นก๊าซต่างๆ แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจากบ่อจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบน

3. บ่อไร้ออกซิเจน (Anaerobic Pond) เป็นบ่อที่บำบัดน้ำเสียโดยไม่ใช้ออกซิเจน ความลึกของบ่อนี้ไม่น้อยกว่า 2 เมตร นิยมใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์อยู่มาก จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ๆ เรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่า Acid Forming Bacteria และ จุลินทรีย์ที่ย่อยกรดอินทรีย์เป็นก๊าซต่างๆ เรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่า Methane Forming Bacteria

#### 2.5.3.2 ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

เป็นระบบที่จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ โดยทั่วไปบ่อมีความลึกประมาณ 2 – 5 เมตร ระบบสระเติมอากาศประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ สระเติมอากาศและบ่อตกตะกอน หลักการทำงานคือ น้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่สระเติมอากาศจะถูกย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจะออกแบบให้เวลากักเก็บประมาณ 3 – 6 วัน จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านสระเติมอากาศ จะไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอน เพื่อให้เกิดการแยกตัวของน้ำใสกับตะกอน

#### 2.5.3.3 ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)

ในระบบนี้จะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์จำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในถังเติมอากาศ และต้องควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยการย้อนกลับตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนในถังตกตะกอนกลับสู่ถังเติมอากาศ ระบบตะกอนเร่งมีอยู่หลายกระบวนการ เช่น Conventional process, Tapered aeration,

Step - feed aeration process, Extended aeration process, Sequencing batch reactor เป็นต้น

ระบบที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมคือ ระบบ Extended aeration process และระบบ Sequencing batch reactor

1. Extended aeration เป็นกระบวนการที่มีระยะเวลาพักเก็บของน้ำเสียและอายุสลัดจ์นานกว่าระบบตะกอนเร่งอื่นๆ ดังนั้นขนาดของถังเติมอากาศจะมีขนาดใหญ่กว่าระบบอื่นๆแต่มีข้อดีคือ ง่ายต่อการควบคุมระบบให้มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งอาจไม่จำเป็นต้องถ่ายน้ำสลัดจ์ทิ้งออกไปจากระบบเหมือนกับระบบอื่นๆ เนื่องจากตามทฤษฎีแล้วไม่มีมวลจุลินทรีย์ส่วนเกินเกิดขึ้นมา แต่ในทางปฏิบัติมักมีสารที่ย่อยสลายยากเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการถ่ายสลัดจ์ออกไปบ้าง

2. Sequencing batch reactor (SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังเติมอากาศเพียงถังเดียว สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งการเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำหน้าที่แยกตะกอนด้วยการตกตะกอนในถังเดียวกัน คือ จะปล่อยให้ น้ำเสียไหลเข้าถังไหลเข้าถังที่มีน้ำสลัดจ์อยู่ภายในถังแล้ว และเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ หลังจากนั้นจะหยุดเติมอากาศให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งจะได้น้ำส่วนบนที่ใสแล้วปล่อยทิ้งออกไป

## 2.6 กระบวนการดูดซับ (Adsorption) (จตุพร และคณะ, 2545)

กระบวนการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้นโมเลกุล ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีตกตะกอนหรือกรองแบบธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึงโมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวตัวดูดซับ (Adsorbent) ว่า กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ส่วน โมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ปรากฏการณ์ดูดซับนี้เกิดระหว่างสอง 2 พื้นผิว (Surface) โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ได้แก่ พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ ตัวอย่างของกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ ได้แก่ การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ (Suzuki, 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.1 ประเภทการดูดซับ

การดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล คือ

### 2.6.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้แรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ผิวหน้าของตัวดูดซับจะเป็นแรงค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์

### 2.6.1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้จะเกี่ยวข้องกับแรงหรือพันธะทางเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยา การเกาะของตัวถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับจะเหมือนแรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวกันระหว่างอะตอมภายในโมเลกุล การดูดซับทางเคมีบางครั้งต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพไม่มีการถ่ายเท หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน สามารถผันกลับได้ในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน แต่การดูดซับทางเคมีจะผันกลับไม่ได้
2. การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ ไม่มีบริเวณจำเพาะในการเกิดกระบวนการดูดซับ ภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม จะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณจำเพาะเท่านั้น และโดยทั่วไป การดูดซับทางเคมี จะเกิดแบบชั้นเดียวเท่านั้น
3. ความร้อนที่ได้จากการดูดซับทางกายภาพ จะน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี

## 2.6.2 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเกิดขึ้น 3 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 การแพร่ภายนอก (External Diffusion) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 การแพร่ภายใน (Internal Diffusion) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) จะเกิดการดูดติดผิวในรูพรุนระหว่างตัว

ถูกดูดซับและพื้นผิวตัวดูดซับ ซึ่งอาจเกิดการดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมี หรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน

## 2.6.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

### 2.6.3.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and Surface Area)

สำหรับสารดูดซับที่ไม่มีรูพรุนความสามารถในการดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ เมื่อขนาดของตัวดูดซับลดลงอัตราการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) โดยที่อัตราการดูดซับจะลดลงเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับเพิ่มมากขึ้น สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกเรียกว่า การขนส่งผ่านชั้นฟิล์ม (Film Transport)

### 2.6.3.2 ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Adsorbent)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลงเนื่องจากในการดูดซับ ตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายนอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลาย ยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรง เป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

### 2.6.3.3 ความปั่นป่วน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งขึ้นกับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนาแน่นมาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้การแพร่ผ่านแผ่นฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลงส่งผลให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

### 2.6.3.4 เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับและสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการ

เอกสารก็นำไปใช้งานจริงสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.3.5 ค่าพีเอช (pH)

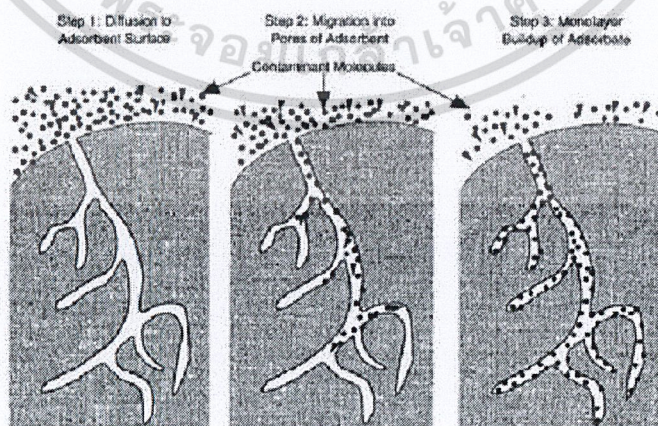
ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน สามารถดูดติดผิวอย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

## 2.7 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

### 2.7.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นคาร์บอนอสัณฐานชนิดหนึ่ง ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเป็นพิเศษ โดยการกระตุ้นเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด และมีรูพรุนอยู่ทั่วทั้งอนุภาค โดยรูพรุนขนาดใหญ่จะไม่มีผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านกัมมันต์มากนัก ดังนั้นในการกระตุ้นคาร์บอนจึงเป็นการทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก เพื่อให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นสำหรับการดูดซับ (500-2,500 ตารางเมตรต่อกรัม) นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังมีความว่องไวในการดูดซับสูงแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ 2 แบบคือ

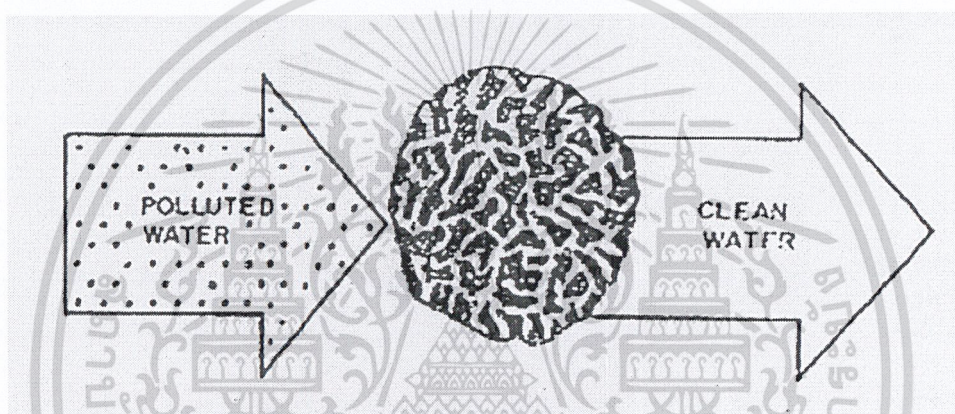
1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon หรือ PAC) มีขนาด 10-50  $\mu$  (micron) ใช้ในการดูดซับสารละลาย เช่น สี สารอินทรีย์ และการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปจะผลิตโดยกระตุ้นเศษไม้ ถ่าน ชี้อัดแล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลง
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon หรือ GAC) มีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดทราย แข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย จะใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย ดูดซับสีและกลิ่นในน้ำดื่มและการบำบัดน้ำเสีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.4 กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ (Davidson, J.H. and McMurry, P.H., 2000) เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการดูดซับจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของคาร์บอน แต่ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัส ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน และไม่เล็กจนเกินไป (ภาสกร, 2543)

ความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือกระตุ้นทางกายภาพทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (elementary crystallites) เพิ่มขึ้น การกระตุ้นที่เหมาะสมจะได้รูพรุนจำนวนมากทำให้ถ่านมีพื้นที่ภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถดูดซับสีและกลิ่นได้มากกว่าถ่านธรรมดา อย่างไรก็ตามความสามารถในการแทรกซึมเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์จะขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลด้วย (Cheremisinoff and Morresi, 1978)



รูปที่ 2.5 ลักษณะรูพรุนของอนุภาคถ่านกัมมันต์ เมื่อสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำผ่านรูพรุนจะเกิดการดูดซับสารอินทรีย์ที่ผิวของรูพรุน (Cheremisinoff and Morresi, 1978)

## 2.7.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสีย

โมเลกุลของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เกาะติดผิวคาร์บอนได้เป็นอย่างดี แต่ถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับคอลลอยด์หรือโมเลกุลบางชนิดได้ เช่น โมเลกุลขนาดเล็ก (โมเลกุลที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 3 อะตอม) และโมเลกุลแบบโพลาาร์ ได้แก่ แอลกอฮอล์ธรรมดา กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กและน้ำตาล โมเลกุลที่ถ่านกัมมันต์จับไม่ได้มักเป็นโมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายในทางตรงกันข้าม โมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก มักสามารถเกาะติดผิวถ่านกัมมันต์ได้ดี ดังนั้นประโยชน์ของถ่านกัมมันต์มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กำจัดสี กลิ่น และรส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก (Humic acid) กรดฟุลวิก (Fulvic acid)
2. กำจัดคลอรีนในน้ำ
3. กำจัดโลหะหนักต่างๆ โดยเฉพาะ GAC สามารถกำจัดปรอท และเงินได้ สามารถลดความเข้มข้นของโลหะอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง ฯลฯ จนเหลือถึงระดับที่ยอมรับได้ในน้ำดื่มได้
4. กำจัดสารฆ่าแมลง (Insecticide) ชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี
5. กำจัดผงซักฟอก
6. กำจัดฟีนอลและสารประกอบฟีนอลได้
7. กำจัดสารไฮโดรคาร์บอน โดยเฉพาะแบบสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว (Saturated Chain Hydrocartion)

ถ่านกัมมันต์นิยมใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย เพื่อเพิ่มคุณภาพน้ำ กำจัดสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดกลิ่น สี รส อีกทั้งยังใช้ในการสามารถนำเอาวัสดุดิบที่มีราคาแพงในภาคอุตสาหกรรมนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสียและการเพิ่มคุณภาพน้ำนิยมใช้ทั้งถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเม็ด อาจใช้ให้ถ่านกัมมันต์อยู่กับที่แล้วให้น้ำเสียไหลผ่าน รส กลิ่น สี จะถูกกำจัดออกจากน้ำเสีย พวกสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ เช่น ฟีนอล สารฆ่าแมลง สี ย้อม สารลดแรงตึงผิว และอื่นๆ จะถูกกำจัดออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำเสียเทศบาล (Cheremisinoff and Morresi, 1978)

## 2.8 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, $H_2O_2$ )

### 2.8.1 คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ผลิตได้จากสารประกอบเปอร์ออกซีกรู๊ปจากการผสมไฮโดรเจนกับออกซิเจน หรือน้ำกับออกซิเจน โดยวิธีทางเคมี (มีแสงสว่างหรือไฟฟ้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) แต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปและมีการใช้มากที่สุดคือ การผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากกระบวนการ Autoxidation ของ 2-ethyl anthraquinone หรือ Anthraquinone isopropyl alcohol และ Hydrozobenzene ร่วมกับก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) เป็นสารตั้งต้น (ดวงกมล, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

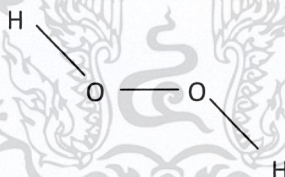
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่มีสถานะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสขมและฝาด ละลายน้ำได้ดี ทั้งในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ คุณสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บริสุทธิ์ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Ullmann, 1999)

คุณลักษณะ	ค่าที่วัดได้
จุดเดือด (101.3 kPa) องศาเซลเซียส	150.2
ความหนาแน่น กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร	1.4425
ค่าคงตัวของกาแตกตัวที่ 20 องศาเซลเซียส	$1.78 \times 10^{-12}$

### 2.8.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจนอย่างละ 2 มีสูตรทางเคมีเป็น  $H_2O_2$  แสดงดังรูปที่ 2.6 มีสภาพเป็นกรดอ่อน โดยเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นแดง จะสลายตัวให้น้ำและออกซิเจน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) (Talinil and Anderson, 1992)

ปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น สามารถเกิดขึ้นได้โดยตรง หรืออาจจะเกิดไอออนขึ้นก่อนทำปฏิกิริยา ซึ่งโดยปกติไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จัดเป็น Strong oxidizing agent ค่าความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction potential values;  $E^0$ ) แสดงดังตารางที่ 2.5 และโดยทั่วไปสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

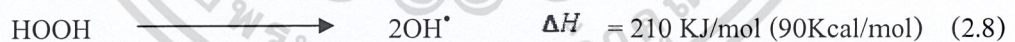
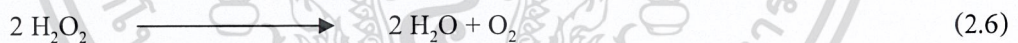
ตารางที่ 2.5 ค่ารีดักชัน-ออกซิเดชัน ของสารออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ (Davidson and Branen, 1993)

(Liktenshtein, 2003)

Oxidizing Reagent	Oxidizing Potential (E <sup>0</sup> )
Ozone	2.07
Hydrogen peroxide	1.77
Hydroxyl radical	2.70
Chloride Dioxide	1.57
Hypochlorous acid	1.49
Oxygen	1.23
Hypochloride	0.94
Chlorite	0.76
Iodine	0.54

ก. การสลายตัวและเสถียรภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระมี 2 รูปแบบคือ ทั้ง O-H บอนด์ หรือ O-O บอนด์ โดยมีคุณสมบัติการแตกตัวที่เหมือนกันคือการสลายตัว

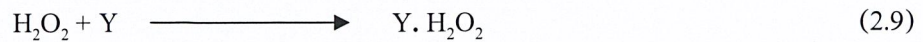


การควบคุมอัตราการสลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะต้องควบคุมปริมาณก๊าซและความร้อน (ประมาณ 100.4 KJ/mol หรือ 24 Kcal/mol) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพราะอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงและเป็นอันตรายได้ ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ไอออนของโลหะ โลหะออกไซด์และไฮดรอกไซด์ โดยทั่วไปแล้วการคงตัวหรือเสถียรภาพของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บริสุทธิ์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ

สารละลาย ซึ่งถ้าพบว่ามีความเข้มข้นมาก การคงตัวยังมีมากขึ้นและจะมากที่สุดในช่วงของความเข้มข้นที่มีค่า pH 3.5-4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

## ข. การเพิ่มโมเลกุล



การเพิ่มโมเลกุลของสารอื่นๆ เข้าไปใน โมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่นิยมคือ การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือออกไซด์ โลหะเปอร์ออกไซด์ สารประกอบไนโตรเจนเซอร์โคเนียมซัลเฟต และ 1,4 ไดอะซอบีโซโคออกเทน จะได้สารผลิตภัณฑ์เปอร์ออกไซด์ออกซิไฮเดรต ซึ่งเป็นสารประกอบที่ได้จากการรวมตัวของโซเดียมเปอร์บอเรตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

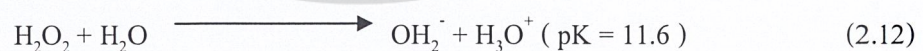
## ค. การแทนที่



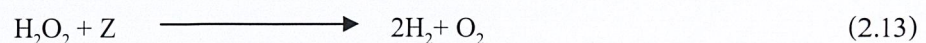
เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมสารประกอบเปอร์ออกซิเจนหลายๆชนิด โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับสารอินทรีย์ ซึ่งสารเหล่านี้มีประโยชน์ในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสารประกอบโพลีเมอร์และสาร Oxidizing เช่น สารประกอบอัลคิลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเตรียมได้จากกระบวนการอัลคิเลชัน กรดเปอร์ออกซี เป็นต้น

## ง. การออกซิเดชัน

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จัดเป็น Oxidizing agent อย่างแรง สามารถออกซิไดซ์ได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และมีค่า Oxidation – Reduction ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับตัวออกซิไดซ์ในกลุ่มสารประกอบ Oxygenate และ Halogenate เมื่อละลายน้ำแตกตัวเป็น  $\text{OH}_2^-$  และ  $\text{H}_3\text{O}^+$  ดังสมการ



## จ. ปฏิกิริยารีดักชัน



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะแสดงตัวเป็น Reducing agent กับสารที่ทำให้เกิด Oxidize ที่แรงได้ เช่น คลอรีน โซเดียม ไฮโปคลอไรด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและเชริก

ซัลฟริก ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้มีการนำเอา ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาประยุกต์ใช้ โดยการนำเอามาทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าโดยเฉพาะ โอโซน มีชื่อเรียกสารดังกล่าวว่า

เปอร์ออกซิโซน (Peroxzone) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ หรือการฆ่าเชื้อโรค

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรวิทย์ จันทร์ชนะ (2542) ศึกษาการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยวิธีออกซิเดชันและการตกตะกอน ทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของตัวช่วยตกตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ PAC, Alum,  $\text{FeSO}_4$  และ Lime พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการตกตะกอนในการบำบัดซีโอดีสูงสุด คือ PAC ปริมาณ 1,000 mg/L ที่ระดับพีเอช 6 สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 94.62% ทดสอบขั้นตอนออกซิเดชัน พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเติมอากาศที่แตกต่างกันนั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของ  $\text{H}_2\text{O}_2$ , NaOCl และ  $\text{KMnO}_4$  พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์ คือ การใช้ NaOCl 1,000 mg/L ซึ่งสามารถบำบัดซีโอดีได้ 89.51% สถานะที่เหมาะสมในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ คือการใช้ PAC ปริมาณ 1,000 mg/L และ NaOCl 1,000 mg/L ที่ระดับพีเอช 6

Al-Degs, et al. (2000) ได้ศึกษาผลของเคมีที่ผิวของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 400 ต่อการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ ที่มีประจุลบ 3 สี คือ Remazol Reactive Yellow, Remazol Reactive Black และ Remazol Reactive Red พบว่า ถ่านกัมมันต์ นี้จะดูดซับสีย้อมได้สูงถึง 1,111 434 และ 400 มิลลิกรัมสีย้อมต่อกรัมตัวดูดซับตามลำดับ ที่ขนาดอนุภาค 300 – 500 ไมโครเมตร การที่ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟ เนื่องจากเคมีที่ผิวของถ่านกัมมันต์นี้มีประจุโดยรวมเป็นประจุบวกในระหว่างการดูดซับและพบว่า ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟที่มีประจุลบและมีค่า  $\text{pH}_{\text{ZPC}}$  มากกว่า 7

Alvin, et al. (2010) ได้ศึกษาการดูดซับสีรีแอคทีฟ ชนิด Reactive black 5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากดินไผ่ (BACX2 และ BACX6) ถ่านที่เตรียมจากกระดูก และถ่านกัมมันต์ชนิด F400 เป็นตัวดูดซับ โดยในการทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าถ่านที่เตรียมจากกระดูกมีขนาดรัศมีของรูพรุนใหญ่ที่สุด คือ 9.43 nm และเมื่อพิจารณาในสมดุลของการดูดซับพบว่า สารละลายจะเข้าสู่สมดุลเมื่ออุณหภูมิคงที่ และตัวดูดซับแต่ละตัวมีค่า  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  เฉพาะตัวที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่าน พบว่าถ่านที่เตรียมจากกระดูกมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เสนอแนะแต่ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$pH_{PZC}$  สูงที่สุดคือ 9.83 ถ้าค่า pH ของน้ำมีค่าต่ำกว่าค่า  $pH_{PZC}$  ของถ่าน พื้นผิวของถ่านนั้นก็จะปล่อยประจุลบออกมาทั้งหมดทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

Oguz, et al. (2006) ศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดสีย้อม Bomplex Red CR-L ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้  $O_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $HCO_3^-$  และ PAC ทดลองน้ำเสียสีย้อมชนิด Bomplex Red CR-L โดยทำการหาสภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดโดยใช้เทคนิค Taguchi ทำการศึกษาพารามิเตอร์ในช่วงต่างๆดังนี้คือ  $HCO_3^-$  0-39 mM, อุณหภูมิ 18-70 °C, อัตราการไหลของ  $O_3$  5-15 l/min, ความเข้มข้นของสีย้อม 200-600 ppm, ปริมาณ PAC 0-15 g,  $H_2O_2$  0-0.056 mM, pH 3-12 และเวลาที่ใช้ในการบำบัด 10-30 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมคือใช้  $HCO_3^-$  0 mM, อุณหภูมิ 70 °C, อัตราการไหลของ  $O_3$  ที่ 10 l/min, ความเข้มข้นของสีย้อม 200 ppm, ปริมาณ PAC 1 g,  $H_2O_2$  0.056 mM, pH 12 และเวลาที่ใช้ในการบำบัด 20 นาที สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อม Bomplex Red CR-L จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถบำบัดได้สูงถึง 99%

Oguz และ Keskinler (2007) ศึกษาการกำจัดสีย้อม Bomaplex Red CR-L จากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการเปรียบเทียบ ระหว่างการดูดซับโดย PAC ร่วมกับการใช้  $O_3$ , การใช้  $O_3$  ร่วมกับ  $HCO_3^-$ , การใช้  $O_3$  ร่วมกับ  $H_2O_2$  ในการทดลองนี้พบว่า กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสีย้อมและค่าซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากกว่ากระบวนการ Ozonation อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) บริษัท TG Instrument รุ่น T60 ประเทศอังกฤษ
2. เครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น Genesys 10 Series ประเทศอังกฤษ
3. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น 254 บริษัท Sartorius ประเทศเยอรมนี
4. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH Meter) บริษัท Metrohm swiss made รุ่น 827 pH Lab ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. เครื่องเขย่า (Shaker) ยี่ห้อ GALLENKAMP orbital shaker
6. เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลาย (DO Meter) บริษัท Jenway รุ่น 9300 ประเทศอังกฤษ
7. ตู้บ่ม (Incubator) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $20\pm 1$  °C บริษัท Velp scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. ไมโครปีเปต บริษัท Witeg Labotecchnik GmbH ประเทศเยอรมนี
10. เครื่องกรองแบบลดความดันและกรวยบุษเนอร์
11. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มิลลิลิตร
12. หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels)
13. กระจกกรอง เบอร์ 5C ยี่ห้อ Advantec
14. เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Rankem บริษัท RFCL Limited
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ความเข้มข้น 30% (w/v) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Fisher Scientific บริษัท Fisher chemical
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$ ) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Mallinckrodt บริษัท แล็บชีส
4. ผงสี Reactive black 5 (ชื่อทางการค้า Remaso black B) เกรดวิเคราะห์ บริษัท ลีมิ่ง อินเตอร์ไพรซ์
5. Powder Activated Carbon (PAC) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ LOBA
6. น้ำกลั่น

## 3.2 การบำบัดสีย้อม Reactive black 5 โดยใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$

### 3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งสี Reactive black 5 มาจำนวน 0.1000 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร

### 3.2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. หาความยาวคลื่นที่ความยาวคลื่นสูงสุด ( $\lambda_{max}$ ) ของสีย้อม โดยสแกนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมที่ความเข้มข้น 0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้น 0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 และ 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ได้จากข้อ 1.

3.2.3 หาค่าซีไอดี บีไอดี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนการบำบัด (ภาคผนวก ก)

### 3.2.4 หาสภาพที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$

1. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร

ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกรดซัลฟูริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้พีเอชเท่ากับ 3

3. ทำการเติม PAC ลงในขวดรูปชมพู่ทั้ง 4 ดังนี้

3.1 ขวดที่ 1 ไม่เติม PAC

3.2 ขวดที่ 2 เติม PAC 0.5 กรัม (หรือ 5 กรัมต่อลิตร)

3.3 ขวดที่ 3 เติม PAC 1 กรัม (หรือ 10 กรัมต่อลิตร)

3.4 ขวดที่ 4 เติม PAC 1.5 กรัม (หรือ 15 กรัมต่อลิตร)

โดยที่ขวดรูปชมพู่ทั้ง 4 ไม่ทำการเติม  $H_2O_2$

4. นำขวดรูปชมพู่ทั้ง 4 ขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) เป็นเวลา 30 นาที

5. เมื่อครบ 30 นาทีแล้ว นำน้ำเสียสังเคราะห์มากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 5C เพื่อแยก PAC ออก

6. นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ได้จากข้อ 3.2.2 ทำการบันทึกผลที่ได้

7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 อีก 2 ครั้ง

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-7 อีก 3 ชุด แต่เปลี่ยนจากไม่เติม  $H_2O_2$  มาเป็นการเติม  $H_2O_2$  ที่ความเข้มข้น 0.025, 0.050, และ 0.080 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (ตาราง ก-1)

9. เริ่มทำการทดลองใหม่อีก 3 ชุด ตั้งแต่ข้อ 1-8 แต่เปลี่ยนค่าพีเอชเป็น 6, 9 และ 12 ตามลำดับ

10. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด

11. ศึกษาผลของเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 10 โดยทำการเขย่าเป็นเวลา 1, 5, 20, 30, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

12. เปรียบเทียบหาเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสีย จากผลการทดลองของข้อ 10

### 3.2.5 หาค่าซีโอดี บีโอดี และความเข้มข้นหน่วย ADMI ของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัด

1. หาค่า COD และ  $BOD_5$  ของน้ำเสียหลังการบำบัด โดยใช้ค่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีข้อมที่ได้ จากข้อ 3.2.4 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราส่วนของ  $BOD_5/COD$

2. หาค่าความเข้มข้นหน่วย ADMI หลังการบำบัด

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การนำเสนอโครงการพิเศษ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียสีข้อม Reactive black 5 โดยใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  มีขั้นตอนหลักๆคือ การศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ ขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาณ PAC ปริมาณ  $H_2O_2$  เวลาสัมผัส นอกจากนี้ยังศึกษาผลการลดลงของความเข้มข้นในหน่วย ADMI และการศึกษาความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพของสีข้อม ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

#### 4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์

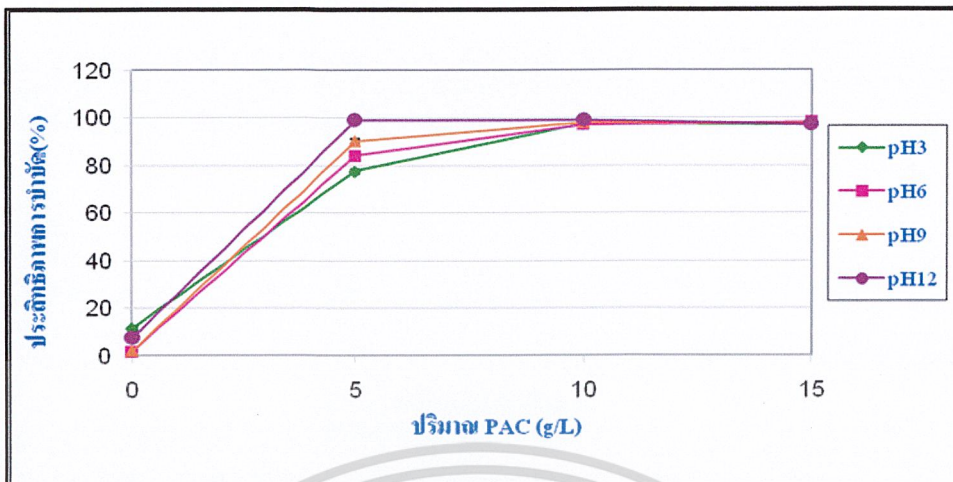
น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยสังเคราะห์โดยใช้สีข้อม Reactive black 5 เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.2 ค่าดูดกลืนแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร บีโอดีเท่ากับ  $24.20 \pm 0.57$  (มก. $O_2$  /ล.) ซีโอดีเท่ากับ  $86.86 \pm 4.43$  (มก. $O_2$  /ล.) และค่าความเข้มข้นในหน่วย ADMI เท่ากับ  $2,878 \pm 14$

#### 4.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีข้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$

##### 4.2.1 การหาปริมาณ PAC ปริมาณ $H_2O_2$ และ pH ที่เหมาะสมในการบำบัดสีข้อม

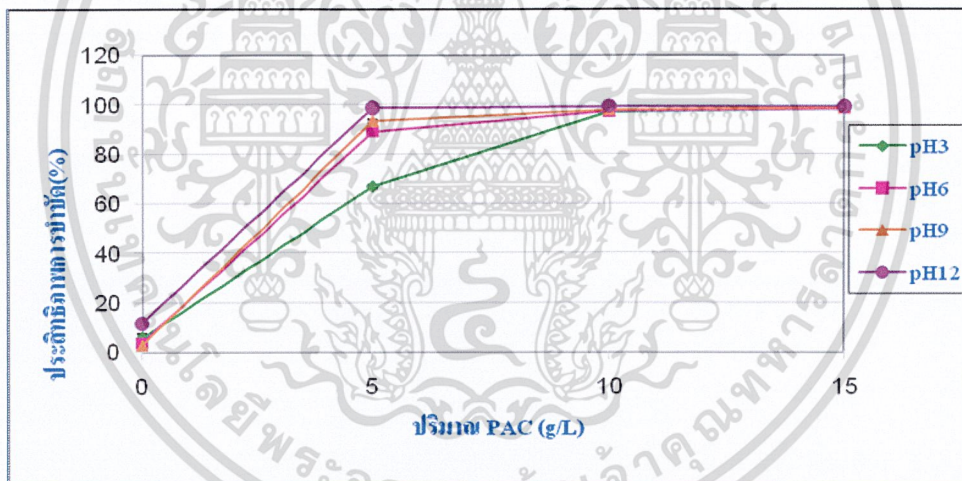
จากการศึกษาหาปริมาณ PAC ปริมาณ  $H_2O_2$  และพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดสีข้อม โดยใช้สีข้อม Reactive Black 5 ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แปรผันปริมาณ PAC ที่ 0, 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ปริมาณ  $H_2O_2$  ที่ 0, 0.025, 0.05 และ 0.080 มิลลิโมลาร์ และพีเอชที่ 3, 6, 9 และ 12 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1-4.4 (ตารางที่ ข-1 ถึง ข-4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L)

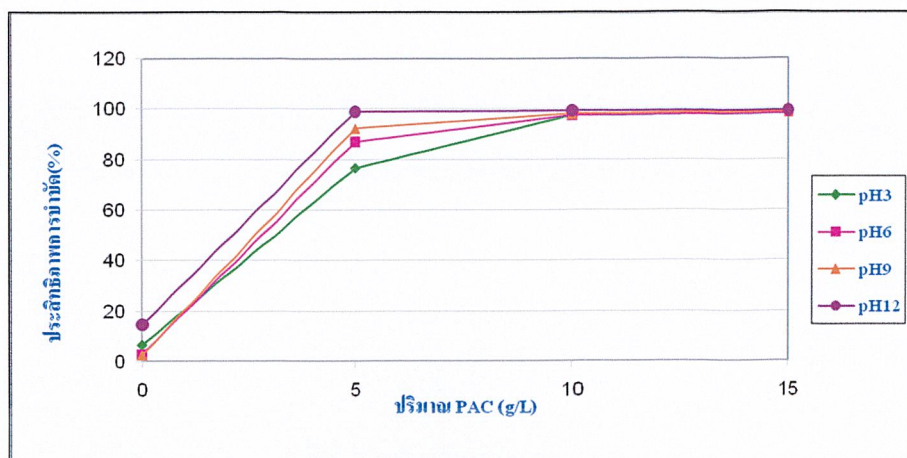
โดยใช้  $H_2O_2$  0 mM



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L)

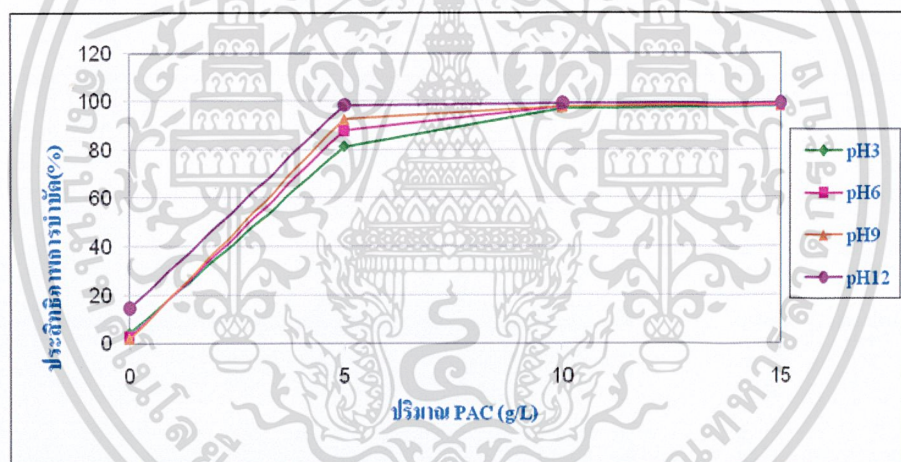
โดยใช้  $H_2O_2$  0.025 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L)

โดยใช้  $H_2O_2$  0.050 mM



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด (%) และปริมาณ PAC (g/L)

โดยใช้  $H_2O_2$  0.080 mM

จากรูปที่ 4.1 ที่การบำบัดสีย้อม Reactive Black 5 โดยไม่ใช้ PAC และ  $H_2O_2$  พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นผลมาจากการลดลงของสีย้อม ซึ่งอาจเกิดจากสีย้อมถูก ออกซิไดซ์โดยแสงขณะทำการทดลอง เมื่อใช้ปริมาณ PAC เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การบำบัด เพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะการเพิ่มปริมาณ PAC ถือเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ เมื่อพิจารณาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปริมาณ PAC 5 กรัมต่อลิตร พบว่าพีเอช 12 จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด รองลงมาเป็นพีเอช 12 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

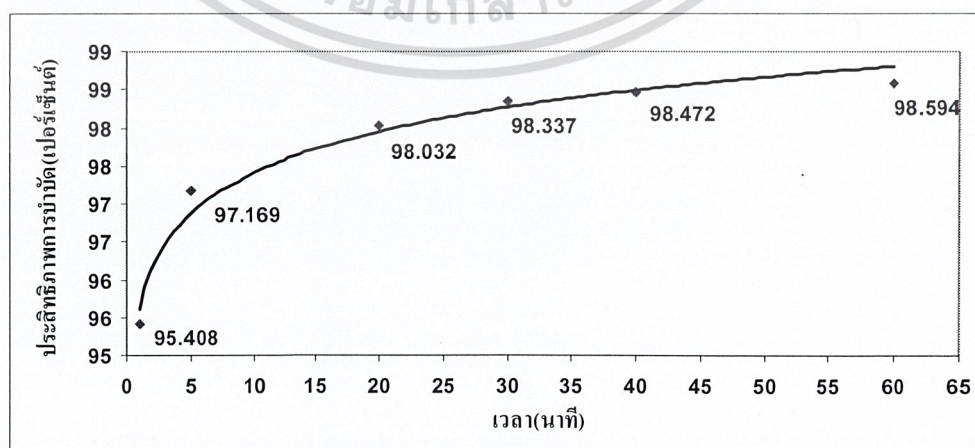
9, 6 และ 3 ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณ PAC เพิ่มขึ้นเป็น 10 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 99% ในทุกพีเอช และประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนเกือบคงที่และเมื่อใช้ PAC ที่ปริมาณ 15 กรัมต่อลิตร โดยรูปที่ 4.2-4.4 ให้ผลเช่นเดียวกับรูป 4.1

จากรูป 4.1-4.4 พบว่าที่พีเอชเดียวกัน ปริมาณ PAC เท่ากัน เมื่อเพิ่มปริมาณ  $H_2O_2$  มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนเกือบจะคงที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า  $H_2O_2$  มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้อยกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก  $H_2O_2$  ที่ใช้ในการบำบัดมีปริมาณน้อยมาก จึงมีความสามารถในการออกซิไดซ์ได้น้อย จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกสองทางแบบพารามตริก (Two-Ways Analysis of Variances By Parametric Method) ตัวแบบที่วิเคราะห์เป็นแบบผลกระทบชนิดคงที่ (ภาคผนวก ค) พบว่าการใช้ PAC ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร และ 15 กรัมต่อลิตรนั้นให้ผลของประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการบำบัดที่พีเอช 9 และ 12 ให้ผลของประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เช่นกัน

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือ พีเอช 9 ปริมาณ PAC 10 กรัมต่อลิตร และ  $H_2O_2$  0.025 มิลลิโมลาร์ สามารถบำบัดด้อยในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรได้ถึง 99%

#### 4.2.2 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด

จากการศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยใช้น้ำเสียเสียความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แปรผันเวลาทำปฏิกิริยาดังนี้ คือ 1, 5, 20, 30, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ โดยเลือกใช้ปริมาณ  $H_2O_2$  0.025 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ PAC 10 กรัมต่อลิตร และพีเอช 9 ซึ่งได้จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 4.2.1 ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและเวลา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมสูงสุดจะอยู่ในช่วง 20 นาทีแรก ซึ่งสามารถบำบัดสีได้ถึง 98% โดยอัตราการเพิ่มขึ้นนั้นจะเป็นไปอย่างช้าๆ จนถึงนาทีที่ 60 ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ จึงถือว่าเวลาที่เข้าสู่ภาวะสมดุลอยู่ที่ 20 นาที ดังนั้นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการบำบัดสีข้อม คือ 20 นาที

#### 4.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในหน่วย ADMI

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในหน่วย ADMI โดยใช้สีข้อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 9 ปริมาณ  $H_2O_2$  0.025 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ PAC 10 กรัมต่อลิตร และ เวลาการบำบัด 20 นาที พบว่าสามารถลดสีจาก  $2,878 \pm 14$  เหลือเพียง  $96 \pm 0.73$  ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสีถึง 96.67% การลดลงของความเข้มข้นสีเนื่องจากการทำลายพันธะในหมู่โครโมฟอร์ในสีข้อม โดย  $H_2O_2$  และการดูดซับสีออกจากน้ำเสียโดย PAC

#### 4.2.4 การศึกษาความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพของสีข้อม

ความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพของสีข้อมสามารถประเมินได้จากอัตราส่วนระหว่าง บีโอดีและซีโอดี ( $BOD_5/COD$ ) โดยอัตราส่วนของ  $BOD_5/COD$  ที่สูงบ่งชี้ถึงความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียสีข้อมที่สูงขึ้น (มันสิน, 2547) จากการศึกษาผลของการบำบัดสีข้อมโดยการใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  ต่อความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดน้ำแล้วมีค่า  $BOD_5/COD$  เพิ่มขึ้นจาก 0.28 เป็น 0.39 (ภาคผนวก ข) นั่นแสดงว่าการบำบัดสีข้อมโดยการใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  สามารถทำให้สีข้อมเหลืออยู่ในปริมาณน้อยจึงสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีข้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 โดยใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลวิจัย

5.1.1. น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยสังเคราะห์โดยใช้สีข้อม Reactive black 5 เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.2 ค่าดูดกลืนแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร บีโอดีเท่ากับ  $24.20 \pm 0.57$  (มก. $O_2$  /ล.) ซีโอดีเท่ากับ  $86.86 \pm 4$  (มก. $O_2$  /ล.) และค่าความเข้มสีในหน่วย ADMI เท่ากับ  $2,878 \pm 14$

5.1.2. สถานะที่เหมาะสมในการบำบัดสีข้อม คือ พีเอช 9 ปริมาณ PAC 10 กรัมต่อลิตร  $H_2O_2$  0.025 มิลลิโมลาร์ และ เวลาการบำบัด 20 นาที สามารถบำบัดสีข้อมในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรได้ถึง 99% ความเข้มสีในหน่วย ADMI ลดลงจาก  $2,878 \pm 14.49$  เหลือเพียง  $96.2 \pm 0.73$  ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสีถึง  $96.67 \pm 0.03\%$

5.1.3. น้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้สถานะที่เหมาะสมในข้อ 2 แล้ว พบว่ามี  $BOD_5/COD$  เพิ่มขึ้นจาก 0.28 เป็น 0.39 นั้นแสดงว่าการบำบัดสีข้อมโดยการใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  สามารถทำให้สีข้อมเหลืออยู่ในปริมาณน้อยจึงสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรใช้  $H_2O_2$  ในปริมาณที่มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อม

5.2.2 ควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น  $Fe^{2+}$ , UV,  $O_3$  ร่วมด้วยเพื่อให้  $H_2O_2$  แยกตัวเป็นเรดิคัล OH และอื่นๆได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดส์สารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น

5.2.3 ศึกษาการกำจัดสีข้อมชนิดอื่นๆโดยการใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  เช่น สีข้อมรีแอคทีฟชนิดอื่น สีข้อมแอซิด สีข้อมเบสิก เป็นต้น

5.2.4 ควรวิเคราะห์หาซีไอดีของสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เพื่อวัดเทคนิคในการทดลอง ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์หาซีไอดีของสารละลายมาตรฐาน KHP จึงทำให้ผลของซีไอดีที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง

5.2.5 ควรปรับสภาพจุลินทรีย์ให้เคยชินกับน้ำเสียสีข้อมก่อนที่จะนำมาทำการทดลอง ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่ได้ปรับสภาพจุลินทรีย์ก่อนการทดลอง จึงทำให้ผลของบีไอดีที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง



## บรรณานุกรม

กมลรัตน์ ศีประเสริฐวงศ์. 2539. “การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเอกทิวเต็ดคัลด์จ้ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม**. กรุงเทพฯ : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

กาญจนา มะลิพุ่ม และตุลวิทย์ สถาปนจารุ. 2549. “การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมโดยใช้วัสดุชีวภาพที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น.” ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กาญจนา ราษฎร์เรืองฤทธิ์ และคณะ. 2551. “การกำจัดสีย้อมจากขั้นตอนการย้อมสีด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและอิเล็กโตรโคแอกกูเลชัน.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กานดา ใจดี และคณะ. 2540. “การใช้โคโคแซนและผงถ่านกัมมันต์ดูดซับสีย้อมผ้า.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

จตุพร โหงว่ง, ธิดารัตน์ จรัสกุล และสุชาสินี บุญยสถิตย์. 2545. “การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผักตบชวา โสน และบอน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เจตนิพิฐ สุดทองคง, ณัฐพงศ์ ไพรยสุรินทร์ และนาคยา สุขประเสริฐ. 2552. “การบำบัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมรีแอคทีฟด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดวงกมล สระน้ำ. 2549. “ผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายโอโซนต่อปริมาณจุลินทรีย์และอายุการวางจำหน่ายมะเขือเทศและหอมหัวใหญ่แปรรูปเบื้องต้น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธีรวิทย์ จันทร์ชนะ. 2542. “การบำบัดสีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยวิธีออกซิ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับและการดัดแปลงอื่น.” หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การค้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527. รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ์: การกำจัดของเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่มที่ 1.

กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;

นวลจิรา วโรตตมะ, 2547, “การกำจัดสีหมู่อะโซซินิกไดเรกต์ และรีแอคทีฟด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์. ”วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นันทิยา พงษ์พันธุ์ และคณะ. 2549. “การบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟ ด้วยระบบบำบัดแบบไม่ใช้และใช้ออกซิเจน. ”ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปีนสยาม ภูมิพาณิชย์, 2546. “การบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี. ”หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พรรษวรรณ ศรีนาค. 2552. การควบคุมมลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.

พิชัย โดวิวิชญ์ และคณะ. 2534. คู่มือสารเคมีกับความปลอดภัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.

ภาสกร สว่างวุฒิธรรม, ศุภโชค ชายแสน และสมชาย กองทรัพย์เจริญ 2543. “การดูดซับตะกั่วและโครเมียมโดยใช้ถ่านกัมมันต์และซีเลออล. ”วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มันสิน ตันกุลเวศม์ และมันรัช ตันกุลเวศม์. 2547. เหมียวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มารุต โปราณานนท์. 2549. “การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยกระบวนการอิเล็กโทรเฟนตอน. ”หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ราตรี ปิ่นทอง และคณะ. 2543. “การดูดซับสารละลายสีย้อมโดยใช้ต้นข้าวโพดและมันสำปะหลัง.”วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วรรณวิภา ผลาหาญ. 2547. “การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ผงเหล็ก”วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรชวรณ เทียงวรรณกานต์. 2546. “การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี. ”วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรวิทย์ เหลืองดิลก. 2552. ผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอคทีฟต่อการลดสี โดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. สถาบันวิทยบริการ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550. คัมภีร์พิชิตมลพิษสิ่งแวดล้อม EU Flower สำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ. กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2552. แนวทางการผลิตสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสู่ตลาดสหภาพยุโรป. กรุงเทพฯ.

อคุลย์ ศรีพิลา. 2543. “การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการดูดซับฟลูออไรด์บนถ่านกัมมันต์และถ่านกระดุก.”วิทยานิพนธ์ ว.ศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อังคณา ตูลไตรรัตน์. 2540. “สุขภาพและสิ่งแวดล้อมกับการใช้สีสารอินทรีย์.” *คัลเลอร์เวย์ 2* (มีนาคม-เมษายน): 29-37

อัจฉราพร ไสละสูต. 2547. *คู่มือการย้อมสี*. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: เทคนิค 19 การพิมพ์.

อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2539. “การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดซับผิว และโคแอกูเลชัน. ”วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรณวฤทธิ์ รื่นเรืองใจ. 2541. “บทบาทของสารให้อิเล็กตรอนที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีสีโอโซรีแอคทีฟด้วยระบบไร้ออกซิเจน. ”วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Ajmal, K., and Khan, A.U. 1992. Effect of textile factory effluent on soil and crop plant. *Environ. Pollution Ser. A*, 37: 131-148.

Al-dege, Y., Khrai, M.M. and Ahmad, M.N., 2000, "Effect of Carbon Surface Chemistry on the Removal of Reactive Dyes from Textile," *Water Research* , Vol.34, pp.927-935.

Alvin W.M. Ip, John P. Barford, Gordon M. 2010. A comparative study on the kinetics and mechanisms of removal of Reactive Black 5 by adsorption onto activated carbons and bone char. *Chemical Engineering Journal* 157, 434-442.

Andrea Zille, Tzanko Tzanov, Georg M. Gübitz and Artur Cavaco-Paulol, 2003, “Immobilized

laccase for decolorization of Reactive Black 5 dyeing Effluent,” *Biotechnology Letters* 25: 1473-1477, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ในการนำมาใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ยินดีที่จะให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cheremisinoff and Morresi. 1978. **Carbon Adsorption Handbook**, Ann arbor Science Publisher : borough Green.
- Davidson, P.M. and Branen, A.L. 1993. **Antimicrobials in Foods**. 2<sup>nd</sup> ed. New York : Marcel Dekker.
- Ensor , O. and Büilent, K. 2007. “Comparison among O<sub>3</sub>, PAC adsorption, O<sub>3</sub>/ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>/PAC processes for the removal of Bomaplex Red CR-L dye from aqueous solution. ”**Dyes and Pigments** 74, 329-334.
- Ensor , O., Büilent, K., Cafer, Ç. and Zeynep, Ç. 2006. “Determination of the optimum conditions in the removal of Bomaplex Red CR-L dye from the textile wastewater using O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and PAC. ” **Journal of Hazardous Materials** B131, 66-72.
- Davidson, J.H. and McMurry, P.H., 2000, “**Adsorption**”, (me.umn.edu), Available: <http://www.me.umn.edu/courses/me5115/notes/Adsorption-1.pdf> (Accessed: 2001, March 25)
- Hussain N. 1994. **Cleaner Product in the dyeing Industry** [Master Thesis in Engineering]. Bangkok: Asian Institute of Technology.
- Jones HP. 1973. **Pollution control in Textile Industry**. London: Noyes Data.
- Kulkarni SV, Blackwell CD, Blackard AL, Stackhouse CW, Alexander MW. 1986. **Textile Dyeing Operation**. USA. ; Noves Publication.
- Orfao, J.J.M., Silva, A.I.M., Pereira, J.C.V., Barata, S.A., Fonseca, I.M., Faria, P.C.C. and Pereira, M.F.R. (2006). “Adsorption of a reactive dye on chemically modified activated carbons-Influence of pH. ”**Journal of Colloid and Interface Science**, 296(2), 480-489.
- Santhy, K. and Selvapathy, P. (2006). “Removal of Reactive dyes from wastewater by absorption on coir pith activated carbon. ”**Bioresource Technology**, 97(11), 1329-1336.
- Shore J. (1990). **Colorants and Auxitiaries Organic Chemistry and Application Properties**. England : **Society of Dyers and Colorists**.
- Suzuki, M. 1990 . **Adsorption Engineering**. Tokyo :**Elsevier** , Inc.
- Talini, I. and G.K., Anderson. 1992. “Interferencs of hydrogen peroxide on the standard COD test. ”**Water Research**. 26 : 107-110.
- Ullmann. 1999. **Industrial inorganic chemicals and products : an Ullmann’s encyclopedia**.

Volumn 6. Weinheim : Wiley-VCH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Walters, A., Santillo, D. and Johnson, P. 2005. **An overview of textiles processing and related environmental concerns.** UK: University of Exeter.

[Online].Available : [http://www2.diw.go.th/I\\_Standard/Web/pane\\_files/Industry10.asp](http://www2.diw.go.th/I_Standard/Web/pane_files/Industry10.asp)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก-1 การวัดความเข้มข้นของสีในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

### 1. เตรียมสารละลายสต็อกสีย้อม Reactive black 5 ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัม

#### ต่อลิตร

ชั่งสีย้อม Reactive Black 5 มาอย่างละ 0.1000 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นจนหมด ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

### 2. เตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมรี Reactive black 5

เตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อม Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 0 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายสีย้อม Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีย้อม Reactive Black 5 เข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เตรียมกราฟมาตรฐานสีย้อม Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 0 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายสีย้อม Reactive Black 5 ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีย้อม Reactive Black 5 เข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

### ตารางที่ ก-1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ที่ต้องเติม

ขวดที่	ความเข้มข้น $H_2O_2$ (mM)	ปริมาณที่ต้องเติม ( $\mu$ L)
1	0	0
2	0.025	21.93
3	0.050	43.86
4	0.080	70.18

หมายเหตุ : เจือจาง stock  $H_2O_2$  100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างการคำนวณ

### 1. การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

#### 1.1 เตรียม $\text{H}_2\text{O}_2$ เข้มข้น 0.025 mM

จากความเข้มข้น  $\text{H}_2\text{O}_2$  เริ่มต้น 1 mol ในน้ำ 1 L หรือ 1 M

ความเข้มข้น  $\text{H}_2\text{O}_2$  1 M มีน้ำหนัก 34 g

$$\text{ถ้าความเข้มข้น } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ } 10^{-3} \text{ M มีน้ำหนัก} = \frac{34 \text{ g} \times 10^{-3} \text{ M}}{1 \text{ M}} = 0.034 \text{ g}$$

$\therefore \text{H}_2\text{O}_2$  1 mM มีน้ำหนัก 0.034 g

$$\text{ถ้าต้องการ } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ } 0.025 \text{ mM จะต้องมี } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ น้ำหนัก} = \frac{0.034 \text{ g} \times 0.025 \text{ mM}}{1 \text{ mM}} = 0.00085 \text{ g}$$

จากข้อ 1.1 สารละลาย 1,000 mL ต้องมี  $\text{H}_2\text{O}_2$  น้ำหนัก 0.85 mg

$$\begin{aligned} \text{ถ้าในสารละลาย } 100 \text{ mL ต้องมี } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ น้ำหนัก} &= \frac{0.85 \text{ mg} \times 100 \text{ mL}}{1,000 \text{ mL}} \\ &= 0.085 \text{ mg} \end{aligned}$$

$\therefore$  ในสารละลาย 100 mL ต้องมี  $\text{H}_2\text{O}_2$  น้ำหนัก 0.085 mg

#### 1.2 ความหนาแน่นของ stock $\text{H}_2\text{O}_2$ เท่ากับ 1.14 g/mL

จาก  $D = \frac{m}{V}$  ถ้าให้ ปริมาตรเป็น 1 ml

แทนค่า จะได้น้ำหนักของ  $\text{H}_2\text{O}_2$  เท่ากับ 1.14 g

#### 1.3 stock $\text{H}_2\text{O}_2$ 34 % w/w

แสดงว่า สารหนัก 100 g มีเนื้อ  $\text{H}_2\text{O}_2$  34 g

$$\text{ถ้าสารหนัก } 1.14 \text{ g จะมีเนื้อ } \text{H}_2\text{O}_2 = \frac{34 \text{ g} \times 1.14 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 0.3876 \text{ g หรือ } 387.6 \text{ mg}$$

$\therefore$  ในสารละลาย stock  $\text{H}_2\text{O}_2$  1 mL จะมีเนื้อ  $\text{H}_2\text{O}_2$  เท่ากับ 387.6 mg

เจือจาง stock  $\text{H}_2\text{O}_2$  100 เท่า โดยดูด stock  $\text{H}_2\text{O}_2$  มา 1 mL แล้วปรับปริมาตรด้วย

น้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จะได้เนื้อ  $\text{H}_2\text{O}_2$  เท่ากับ 3.876 mg

#### 1.4 จากข้อ 1.1 สารละลาย 100 mL ต้องมี $\text{H}_2\text{O}_2$ น้ำหนัก 0.085 mg

จากข้อ 1.3  $\text{H}_2\text{O}_2$  น้ำหนัก 3.876 mg ต้องใช้สารละลาย  $\text{H}_2\text{O}_2$  1 mL

$$\begin{aligned} \text{ถ้าต้องการ } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ น้ำหนัก } 0.085 \text{ mg ต้องใช้สารละลาย stock } \text{H}_2\text{O}_2 &= \frac{1 \text{ mL} \times 0.085 \text{ mg}}{3.876 \text{ mg}} \\ &= 0.0219 \text{ mL หรือ } 21.93 \mu\text{L} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ในสารละลาย 100 mL ต้องใส่  $\text{H}_2\text{O}_2$  ที่เจือจาง 100 เท่า จำนวน 21.93  $\mu\text{L}$  โยชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก-2 การวิเคราะห์หาซีโอไซด์ด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric Method)

### 1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อยสลาย (Digestion vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยโบโรซิลิเกต (Borosilicate culture tubes) ขนาด  $16 \times 100$  มิลลิเมตร ที่มีฟาเกลียว ชนิดทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene ; TFE)

2. บล็อกฮีตเตอร์ (Block heater) หรือตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่  $150 \pm 2$  °C การใช้ตู้อบต้องแน่ใจว่าการอบ 2 ชั่วโมงที่  $150$  °C จะไม่ทำให้ฟาหลอดแก้วถูกทำให้เสียหาย

### 2. สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (Standard potassium digestion solution) 0.1 นอร์มัล

- นำ  $K_2Cr_2O_7$  อบแห้งใน  $130$  °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก  $K_2Cr_2O_7$  มา 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และเติมปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

2. สารละลายกรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต

- ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) 22 กรัมลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5 ลิตร) ทิ้งไว้ 1-2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตจึงละลาย

3. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์

- ละลาย (1, 10 - phenanthroline monohydrate  $C_{12}H_{18}N_2H_2O$ ) 1.485 กรัมและไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.695 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.05 นอร์มัล

- ต้องนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตทุกครั้งก่อนใช้ โดยเติมสารเคมีทุกชนิดตามตารางที่ ก-2 ลงในหลอดแก้วที่ต้องการ โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ทิ้งให้เย็น เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย FAS จุดยุติจะเปลี่ยนจากเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ

ขนาดหลอดย่อยสลาย	ปริมาตรน้ำ (มล.)	ปริมาตรสารละลาย โพแทสเซียมไดโครเมต สำหรับย่อยสลาย (มล.)	สารละลายกรด ซัลฟูริก (มล.)	ปริมาตรรวม (มล.)
หลอดแก้ว 16×100 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
20×150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25×150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0
หลอดมาตรฐาน 10 มล.	2.5	1.5	3.5	7.5

### 3. การทดลอง

- ล้างหลอดแก้วและฝาด้วยกรดซัลฟูริก 20 % ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน
- หลอดแก้วที่ใช้หาซีโอดีหลายขนาด การเลือกใช้ขึ้นกับค่าซีโอดีที่มีในตัวอย่างน้ำในกรณีค่าซีโอดีต่ำๆ (< 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ให้ใช้หลอดแก้วขนาด 25 × 150 มิลลิเมตร ถ้าค่าซีโอดีสูง ใช้ตัวอย่างน้ำในปริมาณน้อยจึงใช้หลอดแก้วขนาดเล็ก (16 × 100 มิลลิเมตร) โดยปกติจะใช้หลอดมาตรฐานที่มีความจุสูงสุด 10 มิลลิลิตร หรือขนาด (16 × 100 มิลลิเมตร) เพราะใช้สารเคมีน้อยที่สุด ดังนั้นตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำมากๆ มักจะมีค่าผิดพลาดเนื่องจากตัวอย่างน้ำน้อยเกินไป
- เมื่อเลือกขนาดหลอดแก้วแล้วให้ใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 5 มิลลิลิตร โดยเติมตัวอย่างน้ำลงหลอดแก้วแล้วเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตโดยปิเปต 3 มิลลิลิตร สำหรับย่อยสารละลาย ค่อยเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 7 มิลลิลิตร ให้เกิดชั้นกรดอยู่ในแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดี แล้วกลับไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี
- นำหลอดแก้วใส่ลงในฮีทติ้งบล็อกหรือตู้อบที่อบ 150 °C แล้วอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำหลอดแก้ววางลงในขวด

**ข้อควรระวัง :** ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขณะกลับหลอดแก้วไปมา และควรผสมสารละลายให้เข้ากันก่อนให้ความร้อน เพื่อป้องกันการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดฝาหลอดแก้วใส่แท่งแม่เหล็กกวนขนาดเล็กที่หุ้ม TFE แล้วเติมเฟอร์ไรต์อินดิเคเตอร์ 1-2 หยด คนอย่างรวดเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็กแล้วไทเทรตกับ FAS 0.05 นอร์มัล จนกระทั่งเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดง หรือทดสอบละลายจากหลอดแก้วลงขวดรูปกรวยก็ได้เพื่อความสะดวกในการไทเทรต แต่ต้องใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด
6. ทำแบลนด์ด้วยทุกครั้งโดยใช้สารเคมีและน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำ

#### 4. การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มก.O}_2\text{/ล.)} = \frac{(B - S) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

โดยที่ B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบลนด์ (มล.)  
 S = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (มล.)  
 N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก-3 การวิเคราะห์หาปริมาณบีโอดี

#### 1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่  $20 \pm 1$  °C
2. เครื่องเติมอากาศ
3. ตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิได้  $20 \pm 1$  °C และไม่มีแสงเข้าภายใน
4. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มิลลิลิตร
5. กระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร
6. แท่งแก้วสำหรับการเจือจางน้ำตัวอย่าง
7. เครื่องวัด DO แบบเมมเบรน อิเล็กโทรด
8. เครื่องแก้วอื่นๆ

#### 2. สารเคมี

1. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เตรียมโดยละลาย Anhydrous  $\text{CaCl}_2$  27.5 กรัม ในน้ำ และปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ เตรียมโดยละลาย  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.25 กรัม ในน้ำ และปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เตรียมโดยละลาย  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  22.5 กรัม ในน้ำ และปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
4. น้ำกลั่น 2 ครั้ง (ต้องมีทองแดงน้อยกว่า 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร)

กรณีที่ต้องเจือจางน้ำตัวอย่าง ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างเอง โดยนำน้ำกลั่นมาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °C และพ่นอากาศก่อนทำการเจือจางอย่างน้อย 1 ชั่วโมง และเติมสารเคมีข้อ 1 - 3 อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร

5. สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต พีเอช 7.2 ละลาย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  8.50 กรัม  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  21.75 กรัม  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  33.40 กรัม และ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1.70 กรัม ในน้ำ และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
6. หัวเชื้อที่ต้องเติม ใช้น้ำจากบ่อดกตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นหัวเชื้อ
7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม ในน้ำ และปรับ

ปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ เตรียมโดยละลาย  $\text{Na}_2\text{S}$  1.575 กรัม แล้วปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร

9. สารละลายกลูโคสและกรดกลูตามิก นำกลูโคส และกรดกลูตามิกไปอบแห้งที่  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  นาน 1 ชั่วโมง นำไปใส่เคสซิเคเตอร์ เมื่อเย็นชั่งอย่างละ 150 มิลลิกรัมนำไปละลาย และใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

### 3. การทดลอง

นำน้ำที่ใช้ในการเจือจาง ชุดควบคุม (Blank set)

1. บรรจุน้ำที่ใช้ในการเจือจางลงขวดบีโอดี 2 ขวดให้เต็มขวดด้วยวิธีกักน้ำ และให้ไหลรินลงตามคอขวด ไม่ให้มีฟองอากาศตกค้างในขวด แล้วปิดจุกแก้ว

2. ขวดที่ 1 ทำการวัดค่าดีไอทันทันที เป็นค่า  $\text{DO}_0$

3. ขวดที่ 2 นำไปบ่มที่  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่า DO เป็น  $\text{DO}_5$  ขณะที่บ่มต้องมีน้ำหล่อบนฝาจุกแก้วและปิดจุกพลาสติกครอบที่จุกแก้วอีกครั้ง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำที่หล่อเหนือจุกแก้ว

4. ค่า  $\text{DO}_0 - \text{DO}_5$  ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามากกว่าแสดงว่ามีผลต่อความถูกต้องในการวัด

#### สารละลายมาตรฐานกลูโคสและกรดกลูตามิก

1. ใช้ในการเจือจางโดยตรง ปีเปิดสารละลายกลูโคสและกรดกลูตามิก มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดบีโอดี เติมน้ำที่ใช้ในการเจือจางลงไป 3 ขวด ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศภายในเช่นเดียวกับการบรรจุน้ำที่ใช้ในการเจือจาง

2. คว่าขวดสลับหยาขขวดให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันทั่วทั้งขวด เติมน้ำที่ใช้สำหรับการเจือจางหล่อไว้ที่จุกแก้วด้วย

3. วัดค่าดีไอขวดที่ 1 ทันทีเป็นค่า  $\text{DO}_0$

4. ขวดที่ 2 และ 3 นำไปบ่มที่  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่า DO เป็น  $\text{DO}_5$

5. คำนวณหาค่า บีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## น้ำตัวอย่าง

1. เก็บน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หำยงห้องปฏิบัติการ แล้วบันทึกข้อมูลแหล่งที่เก็บตัวอย่างน้ำโดยละเอียด
2. ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เช่น สี ความขุ่น กลิ่น ค่าพีเอช ข้อมูลของแหล่งน้ำเพื่อตัดสินใจเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเจือจางว่าควรเจือจางเท่าไร
3. เตรียมน้ำตัวอย่างตามทฤษฎี เช่น การปรับพีเอช การกำจัดคลอรีนตกค้าง การเจือจางหรืออื่นๆ จากนั้นจึงถ่ายน้ำลงขวดบีโอดีตามวิธี ชุดละ 3 ขวด โดยขวดที่ 1 หาค่า  $DO_0$  ทันที อีก 2 ขวดนำไปบ่มที่  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ไว้สำหรับหาค่า  $DO_5$  กรณีที่ไม่ต้องเจือจาง
4. กรณีที่ต้องทำเจือจางต้องทำ 3 ชุดของความเข้มข้น ดูจากตารางที่ ก-3

### ตารางที่ ก-3 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในการหาค่า BOD

เมื่อใช้ % ของผสม		เมื่อใช้การเจือจางโดยตรง	
% ของผสม	ช่วงค่าบีโอดี	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	ช่วงค่าบีโอดี
0.01	20000 – 70000	0.01	30000 - 105000
0.02	10000 – 35000	0.02	12000 - 42000
0.05	4000 – 14000	0.10	6000 - 21000
0.1	2000 – 7000	0.2	3000 - 10500
0.2	1000 – 3500	0.5	1200 - 4200
0.5	400 – 1400	1.0	600 - 2100
1.0	200 – 700	2.0	300 - 1050
2.0	100 – 350	5.0	120 - 420
5.0	40 – 140	10.0	60 - 210
10.0	20 – 70	20.0	30 - 105
20.0	10 – 35	50.0	12 - 42
50.0	4 – 14	100	6 - 21
100	0 – 7	300	0 - 7

ที่มา : Sawyer, McCarty and Parkin 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ให้เติมน้ำที่ใช้สำหรับการเจือจางลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตรด้วยวิธีกักน้ำลงประมาณ 500 มิลลิลิตร ปิดฝาตัวอย่างตามตารางด้านบน โดยจุ่มปลายปิเปตลงใต้ผิวน้ำ
- ทำการเติมน้ำสำหรับการเจือจางให้ไหลรินตามข้างกระบอกตวงจนถึง 1 ลิตร
- ใช้แท่งแก้วคนขึ้นลงเบาๆ ให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เเทลงขวดบีโอดีให้ไหลรินลงตามคอขวดจนเต็ม ห้ามให้มีฟองอากาศ เมื่อปิดจุกต้องมีน้ำหล่อค้ำอยู่

5. กรณีที่ต้องเติมหัวเชื้อในน้ำตัวอย่างและต้องเจือจาง

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 4 แต่ให้เติมหัวเชื้อ 2 มิลลิลิตร ลงน้ำก่อนปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ผสมให้เข้ากันและบรรจุลงขวดบีโอดีด้วยวิธีเช่นเดียวกัน
- ทำชุดควบคุมที่มีหัวเชื้อเพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด โดยใส่หัวเชื้อ 2 มิลลิลิตร กับน้ำที่ใช้เจือจางจนได้ 1 ลิตร แต่ไม่ต้องมีน้ำตัวอย่างเช่นกัน

- วัดค่าดีไอของชุดที่ 1 ของแต่ละชุดทันทีเป็นค่า  $DO_0$
- ชุดที่ 2 และ 3 ของแต่ละชุดนำไปบ่มที่  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ไว้สำหรับหาค่า  $DO_5$

6. การคำนวณหาค่าบีโอดี กรณีที่มีการเจือจาง ชุดความเข้มข้นที่เจือจางนั้น ค่า  $DO_5$

$$\text{บีโอดี (มก. } O_2/\text{ล.)} = \frac{(D_1 - D_2) - (S_1 - S_2)}{P}$$

โดยที่

$D_1 = DO_0$  ของตัวอย่าง

$D_2 = DO_5$  ของตัวอย่าง

$S_1 = DO_0$  ของหัวเชื้อ

$S_2 = DO_5$  ของหัวเชื้อ

$P =$  สัดส่วนที่ทำการเจือจาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก-5 การวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ (เจตนิพิฐและคณะ, 2552)

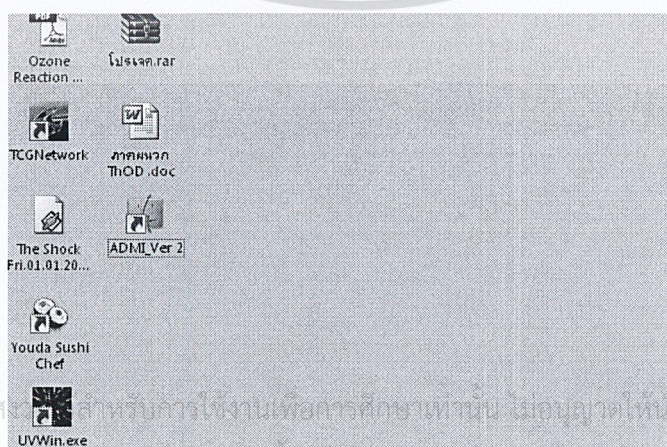
1. ทำการกรองตัวอย่างน้ำ ด้วยฟิลเตอร์ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
2. นำไปวัดค่า %T ที่ความยาวคลื่นด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ตามตารางที่ ก-3

### ตารางที่ ก-4 การวัดค่า %T ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

Coordinate	X	Y	Z
No.	Wavelength (nm)		
2	435.5	489.5	422.2
5	461.2	515.2	432.0
8	544.3	529.8	438.6
11	564.1	541.4	444.4
14	577.4	551.8	450.1
17	588.7	561.9	455.9
20	599.6	572.5	462.0
23	610.9	584.8	468.7
26	624.2	600.8	477.7
29	654.9	627.3	495.2
Factor when 10 Ordinate Used	0.09806	0.10000	0.11814

ขั้นตอนการดำเนินงานบนคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เข้าโปรแกรมผ่านทางไอคอนหน้าจอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ใส่ค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแต่ละ โคออดิเนต จนครบทั้ง 3 แกน

No.	ID	Mode	A 422.20 nm	B 432.00 nm	C 438.60 nm	D 444.40 nm	E 450.10 nm	F 455.90 nm	G 462.00 nm	H 468.70 nm	I 477.70 nm	J 495.20 nm
1	1-บี.ค.	T%	67.8	75.1	88.2	90.6	92.5	93.8	94.7	95.6	96.7	98.6

No.	ID	Mode	A 422.20 nm	B 432.00 nm	C 438.60 nm	D 444.40 nm	E 450.10 nm	F 455.90 nm	G 462.00 nm	H 468.70 nm	I 477.70 nm	J 495.20 nm
1	1-บี.ค.	T%	80.8	84.7	86.5	87.9	89	90.3	91.8	93.3	94.7	96.9

No.	ID	Mode	A 422.20 nm	B 432.00 nm	C 438.60 nm	D 444.40 nm	E 450.10 nm	F 455.90 nm	G 462.00 nm	H 468.70 nm	I 477.70 nm	J 495.20 nm
1	1-บี.ค.	T%	62.8	66.6	68.7	70.5	72.1	73.6	75.5	76.8	78.8	81.9

## 3. โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าDE และค่าความเข้มสีในหน่วยเอดีเอ็มไอมาให้ผ่าน

ทางเวิร์คชีท ADMI

Xs	Ys	Zs	Vxs	Vys	Vzs	DE	ADMI
87.6264	89.59	85.92322	9.47	9.48	8.72	0.319136	459.5553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



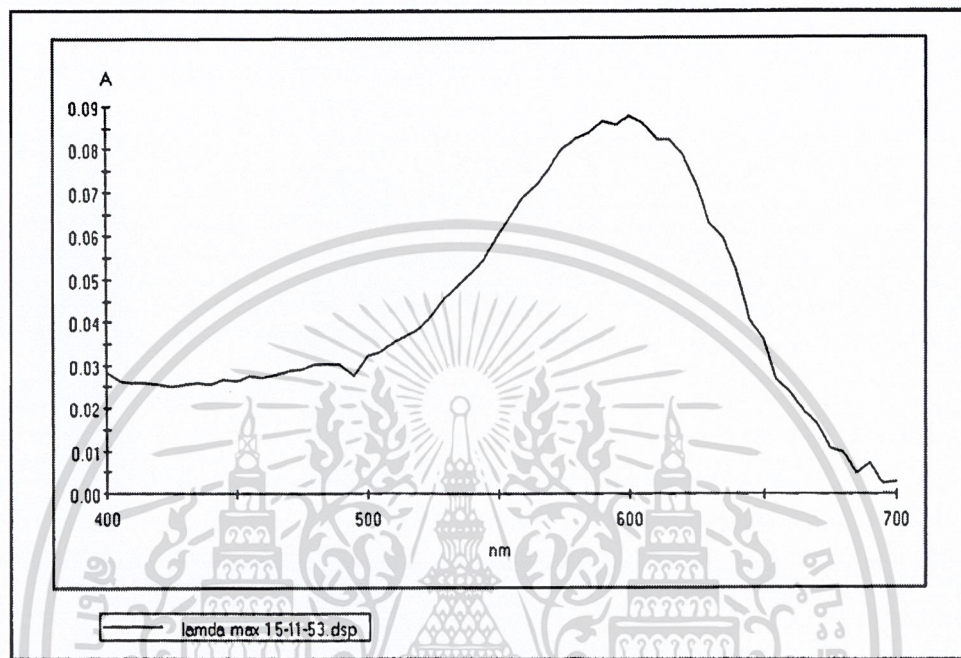
ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปที่ ข-1 การดูดกลืนแสงสูงสุดของสีย้อม Reactive black 5

การหาค่าความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ของสารละลายสีย้อม Reactive black 5 ด้วยเครื่องยูวี- วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ ดังรูปที่ ข-1

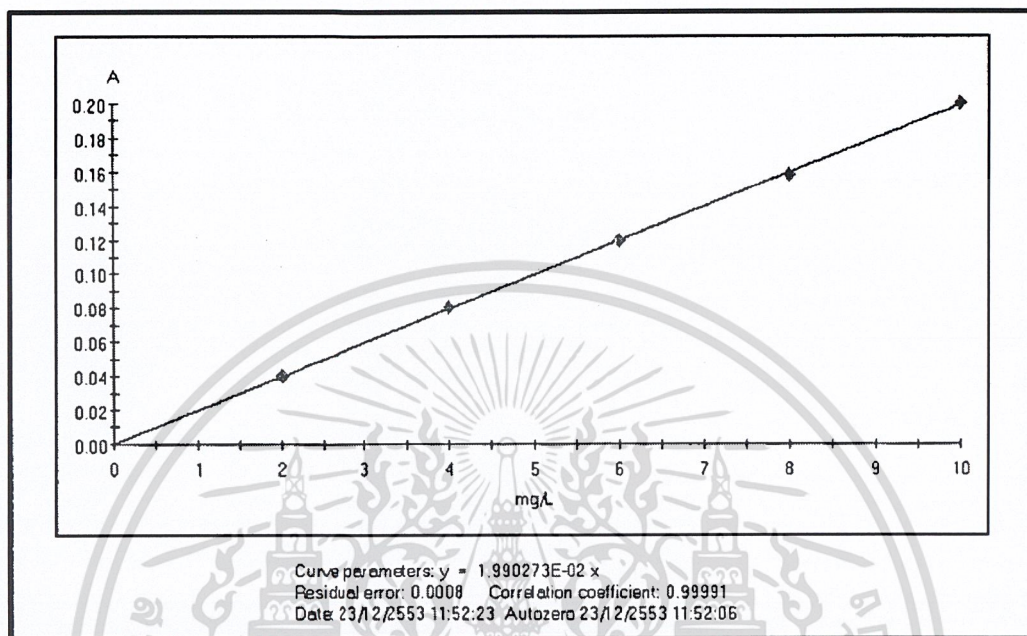


รูปที่ ข-1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อม Reactive black 5

ผลการทดลองพบว่าค่าความยาวคลื่นแสง ที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายสีย้อม Reactive black 5 มีค่าเท่ากับ 600 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร



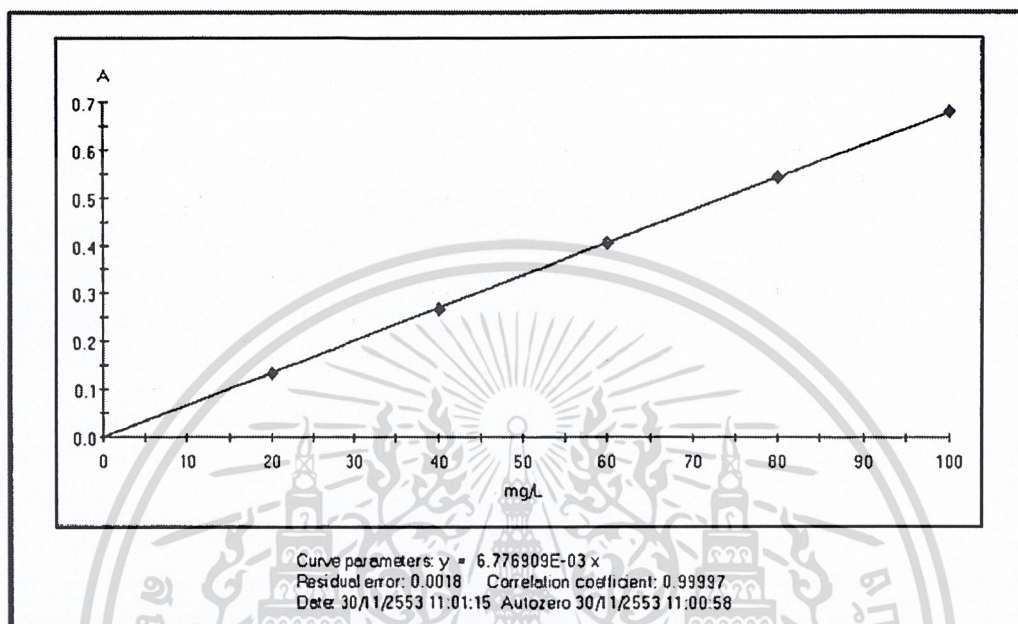
#### Standards

No.	Concentration [mg/L]	Ordinate [A]	Error [A]	Used
1	2.000	0.040	0.000	Yes
2	4.000	0.080	0.001	Yes
3	6.000	0.120	0.000	Yes
4	8.000	0.158	-0.001	Yes
5	10.000	0.200	0.001	Yes

รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Reactive Black 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



#### Standards

No.	Concentration [mg/L]	Ordinate [A]	Error [A]	Used
1	20.00	0.134	-0.001	Yes
2	40.00	0.269	-0.002	Yes
3	60.00	0.406	-0.001	Yes
4	80.00	0.541	-0.001	Yes
5	100.00	0.680	0.002	Yes

รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Reactive Black 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ปริมาณความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่พีเอช 3 เมื่อใช้ PAC และ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ใน ปริมาณต่างๆ

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการ บำบัดเฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
1	5.35	2.98	0.0000	0	1.795	87.981	12.019	11.467	0.661	5.764
2	5.17	3.00	0.0000		1.803	88.353	11.647			
3	3.02	3.02	0.0000		1.821	89.265	10.735			
4	5.00	3.02	0.4999		0.488	23.908	76.092	77.402	1.456	1.881
5	5.00	3.00	0.5001		0.429	21.031	78.969			
6	5.19	2.99	0.5000		0.454	22.856	77.144			
7	5.00	3.00	1.0000		0.060	3.037	96.963	97.351	0.338	0.347
8	5.00	3.01	1.0001		0.049	2.491	97.509			
9	5.00	3.02	1.0002		0.047	2.420	97.580			
10	5.47	3.00	1.5002		0.065	3.213	96.787	96.743	0.377	0.390
11	5.41	2.99	1.5000		0.074	3.654	96.346			
12	5.25	3.00	1.5000		0.059	2.903	97.097			
13	5.20	3.00	0.0000	0.025	1.856	92.176	7.824	5.896	1.707	28.952
14	5.36	3.00	0.0000		1.992	95.423	4.577			
15	5.39	3.00	0.0000		1.908	94.713	5.287			
16	5.43	3.00	0.5000		0.664	33.916	66.084	66.946	0.747	1.115
17	5.34	3.00	0.5001		0.638	32.603	67.397			
18	5.40	2.99	0.5002		0.639	32.644	67.356			
19	5.41	2.99	1.0001		0.053	2.630	97.370	97.268	0.091	0.094
20	5.41	3.00	1.0001		0.057	2.805	97.195			
21	5.30	3.00	1.0002		0.056	2.761	97.239			
22	5.51	3.00	1.5001		0.030	1.491	98.509	98.425	0.081	0.082
23	5.38	2.99	1.5001		0.034	1.653	98.347			
24	5.30	3.00	1.5003		0.032	1.580	98.420			
25	5.43	3.00	0.0000	0.050	1.866	93.580	6.420	6.552	0.947	14.460
26	5.14	3.01	0.0000		1.885	94.323	5.677			
27	5.13	2.99	0.0000		1.847	92.442	7.558			
28	5.29	3.00	0.5002		0.458	23.058	76.942	76.425	0.677	0.886
29	5.09	3.00	0.5002		0.486	24.342	75.658			
30	5.15	2.99	0.5000		0.476	23.326	76.674			
31	5.22	3.00	1.0001		0.060	3.003	96.997	97.209	0.200	0.205
32	5.13	3.00	1.0000		0.052	2.607	97.393			
33	5.10	3.00	1.0000		0.055	2.762	97.238			
34	5.29	2.99	1.5000		0.020	0.996	99.004	98.090	0.982	1.001
35	5.19	3.00	1.5002		0.036	1.787	98.213			
36	5.20	2.99	1.5003		0.059	2.948	97.052			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการ บำบัดเฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
37	5.32	3.01	0.0000	0.080	1.889	96.818	3.182	4.313	1.392	32.275
38	4.94	2.99	0.0000		1.875	96.110	3.890			
39	4.94	3.01	0.0000		1.836	94.132	5.868			
40	5.04	2.99	0.5000		0.394	19.416	80.584	81.489	0.938	1.151
41	4.97	3.00	0.5001		0.364	18.573	81.427			
42	4.90	3.01	0.5003		0.343	17.543	82.457			
43	4.98	3.00	1.0030		0.048	2.417	97.583	97.372	0.183	0.187
44	4.97	3.00	1.0000		0.054	2.728	97.272			
45	5.05	3.01	1.0001		0.055	2.738	97.262			
46	5.49	3.00	1.5001		0.054	2.675	97.325	98.085	0.678	0.691
47	5.15	3.01	1.5001		0.028	1.372	98.628			
48	5.12	3.00	1.5000		0.034	1.699	98.301			

ตารางที่ ข-2 ปริมาณความเข้มข้นสีย้อม Reactive Black 5 ที่พีเอช 6 เมื่อใช้ PAC และ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ใน  
ปริมาณต่างๆ

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการ บำบัดเฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
1	5.64	6.01	0.0000	0	1.891	97.457	2.543	2.110	0.402	19.046
2	5.49	5.99	0.0000		1.906	98.251	1.749			
3	5.51	6.00	0.0000		1.901	97.962	2.038			
4	5.41	6.00	0.5000		0.324	16.565	83.435	84.209	0.716	0.851
5	5.30	6.00	0.5000		0.309	15.657	84.343			
6	5.39	5.99	0.5000		0.299	15.151	84.849			
7	5.29	6.01	1.0001		0.051	2.577	97.423	97.357	0.227	0.233
8	5.22	6.01	1.0000		0.057	2.896	97.104			
9	5.20	6.00	1.0001		0.049	2.456	97.544			
10	5.27	6.01	1.5002		0.034	1.706	98.294	98.223	0.114	0.116
11	5.22	6.00	1.5000		0.038	1.909	98.091			
12	5.26	6.00	1.5000		0.034	1.717	98.283			
13	5.23	6.00	0.0000	0.025	1.906	96.510	3.49	3.912	0.392	10.023
14	5.25	5.99	0.0000		1.896	96.019	3.981			
15	5.21	6.00	0.0000		1.891	95.735	4.265			
16	5.36	6.00	0.5000		0.226	11.434	88.566	89.084	0.580	0.651
17	5.27	5.99	0.5000		0.203	10.290	89.71			
18	5.25	5.99	0.5000		0.218	11.024	88.976			
19	5.25	5.99	1.0000		0.052	2.613	97.387	97.407	0.040	0.041
20	5.26	6.00	1.0000		0.052	2.618	97.382			
21	5.19	6.00	1.0001		0.050	2.547	97.453			
22	5.55	5.99	1.5000		0.035	1.762	98.238	98.331	0.157	0.160
23	5.36	6.01	1.5001		0.035	1.757	98.243			
24	5.22	6.00	1.5001		0.030	1.487	98.513			

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการ บำบัดเฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
25	5.23	6.00	0.0000	0.050	1.928	96.861	3.139	3.027	0.173	5.728
26	5.19	6.01	0.0000		1.928	96.886	3.114			
27	5.11	6.00	0.0000		1.934	97.173	2.827			
28	5.11	6.01	0.5001		0.245	12.347	87.653	86.895	0.660	0.760
29	5.05	6.00	0.5002		0.259	13.411	86.589			
30	5.12	6.00	0.5001		0.262	13.556	86.444			
31	4.98	6.00	1.0001		0.054	2.733	97.267	97.443	0.156	0.160
32	4.97	6.01	1.0001		0.049	2.437	97.563			
33	5.10	6.00	1.0001		0.050	2.502	97.498			
34	4.99	6.01	1.5001		0.033	1.668	98.332	98.255	0.112	0.114
35	4.94	6.01	1.5001		0.034	1.693	98.307			
36	5.16	6.00	1.5000		0.037	1.874	98.126			
37	5.07	6.00	0.0000	1.925	97.323	2.677	2.706	0.045	1.678	
38	4.97	6.00	0.0000	1.923	97.242	2.758				
39	4.98	6.01	0.0000	1.925	97.318	2.682				
40	4.98	6.00	0.5000	0.267	13.707	86.293	87.935	1.519	1.728	
41	5.12	6.00	0.5001	0.230	11.780	88.220				
42	5.02	6.00	0.5000	0.209	10.709	89.291				
43	5.12	6.00	1.0002	0.035	1.748	98.252	97.977	0.540	0.551	
44	5.17	6.00	1.0000	0.033	1.677	98.323				
45	5.15	6.00	1.0001	0.053	2.645	97.355				
46	5.09	6.00	1.5000	0.035	1.779	98.221	98.196	0.039	0.040	
47	5.03	6.00	1.5001	0.037	1.849	98.151				
48	5.10	6.00	1.5000	0.036	1.784	98.216				

ตารางที่ ข-3 ปริมาณความเข้มข้นสีของ Reactive Black 5 ที่พีเอช 9 เมื่อใช้ PAC และ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ใน ปริมาณต่างๆ

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพการ บำบัดเฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
1	5.45	9.00	0.0000	0	1.9476	97.537	2.463	2.172	0.252	11.590
2	5.33	9.01	0.0000		1.9564	97.978	2.022			
3	5.36	8.99	0.0000		1.9562	97.968	2.032			
4	5.34	8.99	0.5001		0.1848	9.227	90.774	90.166	0.946	1.049
5	5.39	8.99	0.5000		0.1873	9.351	90.649			
6	5.42	8.99	0.5000		0.2188	10.924	89.076			
7	5.3	9.00	1.0000		0.0436	2.177	97.823	97.772	0.094	0.096
8	5.32	8.99	1.0002		0.0435	2.172	97.828			
9	5.35	9.00	1.0001		0.0468	2.337	97.663			
10	5.41	8.99	1.5000		0.0323	1.613	98.387	97.675	0.899	0.920
11	5.37	9.00	1.5000		0.0406	2.027	97.973			
12	5.36	9.00	1.5000		0.0668	3.335	96.665			

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัด เฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
13	5.35	9.00	0.0000	0.025	1.9389	97.102	2.898	2.892	0.851	29.442
14	5.38	8.99	0.0000		1.9561	97.963	2.037			
15	5.39	8.99	0.0000		1.9221	96.260	3.740			
16	5.77	9.01	0.5000		0.1491	7.444	92.556	93.245	0.603	0.647
17	5.71	8.99	0.5002		0.1266	6.321	93.679			
18	5.61	9.01	0.5003		0.1302	6.501	93.500			
19	5.95	9.00	1.0001		0.0410	2.047	97.953	97.841	0.240	0.245
20	5.54	8.99	1.0001		0.0400	1.996	98.004			
21	5.49	9.01	1.0002		0.0480	2.434	97.566			
22	5.55	8.99	1.5001		0.0240	1.217	98.783	98.714	0.073	0.074
23	5.46	9.01	1.5001		0.0270	1.363	98.637			
24	5.50	8.99	1.5003		0.0250	1.277	98.723			
25	5.35	9.00	0.0000	1.9389	97.147	2.853	2.551	0.276	10.837	
26	5.38	8.99	0.0000	1.9561	97.690	2.310				
27	5.39	8.99	0.0000	1.9221	97.509	2.491				
28	5.77	9.01	0.5000	0.1491	7.065	92.935	92.225	0.617	0.669	
29	5.71	8.99	0.5002	0.1266	8.176	91.824				
30	5.61	9.01	0.5003	0.1302	8.085	91.915				
31	5.49	8.99	1.0001	0.0440	2.217	97.783	97.825	0.043	0.043	
32	5.45	8.99	1.0000	0.0430	2.177	97.823				
33	5.52	8.99	1.0000	0.0420	2.132	97.868				
34	5.46	8.99	1.5000	0.0260	1.292	98.708	98.693	0.013	0.013	
35	5.62	9.00	1.5002	0.0260	1.312	98.688				
36	5.48	9.00	1.5003	0.0260	1.317	98.683				
37	5.52	8.99	0.0000	1.8990	97.869	2.131	1.921	0.245	12.764	
38	5.53	8.99	0.0000	1.9019	98.019	1.981				
39	5.58	9.01	0.0000	1.9083	98.348	1.652				
40	5.53	8.99	0.5000	0.1475	7.623	92.377	92.756	0.396	0.427	
41	5.66	8.99	0.5001	0.1408	7.277	92.723				
42	5.56	8.99	0.5003	0.1322	6.832	93.168				
43	5.63	9.01	1.0030	0.0401	2.072	97.928	97.962	0.260	0.266	
44	5.65	9.00	1.0000	0.0441	2.279	97.721				
45	5.69	8.99	1.0001	0.0341	1.762	98.238				
46	5.58	9.00	1.5001	0.0225	1.163	98.837	98.729	0.094	0.095	
47	5.60	8.99	1.5001	0.0257	1.328	98.672				
48	5.65	9.00	1.5000	0.0256	1.323	98.677				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ปริมาณความเข้มข้นสีข้อม Reactive Black 5 ที่พีเอช 6 เมื่อใช้ PAC และ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ใน ปริมาณต่างๆ

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพ การ บำบัดเฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
1	5.03	12.00	0.0000	0	1.830	91.710	8.290	7.721	0.673	8.716
2	4.63	12.01	0.0000		1.838	92.106	7.894			
3	4.66	12.00	0.0000		1.857	93.022	6.978			
4	4.68	12.00	0.5000		0.071	0.822	99.178	99.133	0.061	0.061
5	4.63	12.00	0.5000		0.019	0.936	99.064			
6	4.79	12.00	0.5000		0.017	0.842	99.158			
7	5.61	12.00	1.0001		0.017	0.868	99.132	99.134	0.023	0.023
8	5.70	12.00	1.0000		0.016	0.842	99.158			
9	5.47	12.00	1.0000		0.017	0.888	99.112			
10	5.19	12.01	1.5000		0.049	2.437	97.563	97.439	0.112	0.115
11	4.87	12.00	1.5000		0.054	2.655	97.345			
12	4.90	12.00	1.5000		0.052	2.591	97.409			
13	5.05	12.00	0.0000	1.745	88.101	11.899	11.744	0.226	1.924	
14	5.42	12.00	0.0000	1.746	88.151	11.849				
15	5.31	12.00	0.0000	1.753	88.515	11.485				
16	5.11	12.00	0.5001	0.021	1.019	98.981	98.939	0.165	0.166	
17	5.03	12.00	0.5000	0.019	0.921	99.079				
18	4.97	12.00	0.5000	0.025	1.242	98.758				
19	4.91	12.00	1.0002	0.013	0.643	99.357	99.314	0.083	0.084	
20	4.96	12.00	1.0000	0.013	0.633	99.367				
21	4.98	12.00	1.0000	0.016	0.782	99.218				
22	5.10	12.00	1.5000	0.013	0.624	99.376	99.355	0.033	0.033	
23	4.95	12.00	1.5000	0.014	0.683	99.317				
24	4.96	12.00	1.5000	0.013	0.629	99.371				
25	4.99	12.00	0.0000	0.583	86.010	13.990	14.680	0.675	4.601	
26	5.00	12.00	0.0000	5.780	85.290	14.710				
27	5.05	12.00	0.0000	0.574	84.660	15.340				
28	5.18	12.00	0.5002	0.019	0.925	99.075	98.857	0.300	0.303	
29	4.97	12.00	0.5000	0.030	1.485	98.515				
30	5.08	12.00	0.5000	0.021	1.019	98.981				
31	5.06	12.00	1.0002	0.012	0.614	99.386	99.289	0.099	0.099	
32	5.06	12.00	1.0000	0.015	0.811	99.189				
33	5.07	12.00	1.0000	0.014	0.708	99.292				
34	5.72	12.00	1.5000	0.012	0.609	99.391	99.362	0.145	0.146	
35	5.67	12.00	1.5000	0.010	0.510	99.490				
36	5.13	12.00	1.5000	0.017	0.795	99.205				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 (ต่อ)

ขวด ที่	pH เริ่มต้น	pH ปรับ	ปริมาณ PAC (g)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mM)	Abs	ความเข้มข้น (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพ การ บำบัดเฉลี่ย (%)	S.D.	C.V. (%)
37	5.36	12.00	0.0000	0.080	0.583	86.012	13.988	14.681	0.679	4.625
38	5.25	12.00	0.0000		0.578	85.289	14.711			
39	5.27	12.00	0.0000		0.574	84.655	15.345			
40	5.23	12.00	0.5000		0.033	1.571	98.429	98.500	0.091	0.093
41	5.13	12.00	0.5001		0.032	1.532	98.468			
42	5.22	12.00	0.5002		0.029	1.397	98.603			
43	5.29	12.00	1.0001		0.016	0.790	99.210	99.223	0.059	0.059
44	5.24	12.00	1.0002		0.017	0.829	99.171			
45	5.26	12.00	1.0002		0.015	0.713	99.287			
46	5.33	12.00	1.5002		0.018	0.872	99.128	99.304	0.178	0.179
47	5.23	12.00	1.5000		0.011	0.516	99.484			
48	5.25	12.00	1.5000		0.015	0.699	99.301			

ตารางที่ ข-5 ค่าความเข้มข้นในหน่วย ADMI

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น ADMI	ความเข้มข้น ADMI เฉลี่ย	S.D	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัดเฉลี่ย (%)	S.D
RB5 ก่อนบำบัด						
1	2871			-	-	-
2	2895	2879	14	-	-	-
3	2870			-	-	-
RB5 หลังบำบัด						
1	95			96.6910		
2	96	96	1	96.6839	96.6647	0.0397
3	97			96.6190		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ปริมาณการวิเคราะห์ค่าซีโอดีก่อนและหลังการบำบัด

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น FAS (นอร์มอล)	ปริมาณ ไทเทรนต์ (FAS) มล.	COD (มก. O <sub>2</sub> /ล.)	COD เฉลี่ย (มก. O <sub>2</sub> /ล.)	S.D
blank	0.0479	6.2	-	-	-
RB5 ก่อนบำบัด					
1		5.1	84.304		
2	0.0479	5.1	84.304	86.86	4.425
3		5.0	91.968		
RB5 หลังบำบัด					
1		5.8	30.656		
2	0.0479	5.8	30.656	33.211	4.425
3		5.7	38.320		

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสูตร

$$\text{ซีโอดี (มก.O}_2\text{ /ล.)} = \frac{(B - S) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

$$\text{โดยที่ } B = \text{ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตเบลงค์ (มล.)}$$

$$S = \text{ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (มล.)}$$

$$N = \text{ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มอล)}$$

ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตเบลงค์เท่ากับ 6.2 มล.

ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างเท่ากับ 5.1 มล.

ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ 5 มล.

ความเข้มข้นที่แน่นอนของ FAS เท่ากับ 0.0479 นอร์มอล

$$\text{จะได้ค่าซีโอดี} = \frac{(6.20 - 5.10) \times 0.0479 \times 8000}{5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของภาควิชาการศึกษาน้ำไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำไปเผยแพร่หรือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

84.304 มก. O<sub>2</sub> /ล.

ข-7 ปริมาณการวิเคราะห์ค่าบีโอดีก่อนและหลังการบำบัด

ตัวอย่าง	DO <sub>0</sub>	DO <sub>5</sub>	DO <sub>0</sub> -DO <sub>5</sub>	% การ เจือจาง	BOD (mgO <sub>2</sub> /L)	BOD เฉลี่ย (mgO <sub>2</sub> /L)	S.D
Blank	9.94	9.90	0.04	-	-	-	-
Seed	9.72	5.08	4.64	-	-	-	-
RB5 ก่อนบำบัด							
1	10.14	4.31	5.83	5	23.8	24.20	0.566
2	10.14	4.27	5.87	5	24.6		
RB5 หลังบำบัด							
1	9.77	4.46	5.31	5	13.4	13.1	0.425
2	9.77	4.49	5.28	5	12.8		

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{จากสูตร บีโอดี (มก. O}_2\text{/ล.)} = \frac{(D_1 - D_2) - (S_1 - S_2)}{P}$$

โดยที่

D<sub>1</sub> = DO<sub>0</sub> ของตัวอย่าง

D<sub>2</sub> = DO<sub>5</sub> ของตัวอย่าง

S<sub>1</sub> = DO<sub>0</sub> ของหัวเชื้อ

S<sub>2</sub> = DO<sub>5</sub> ของหัวเชื้อ

P = สัดส่วนที่ทำการเจือจาง

DO<sub>0</sub> ของตัวอย่างเท่ากับ 10.14 มก./ล.

DO<sub>5</sub> ของตัวอย่างเท่ากับ 3.14 มก./ล.

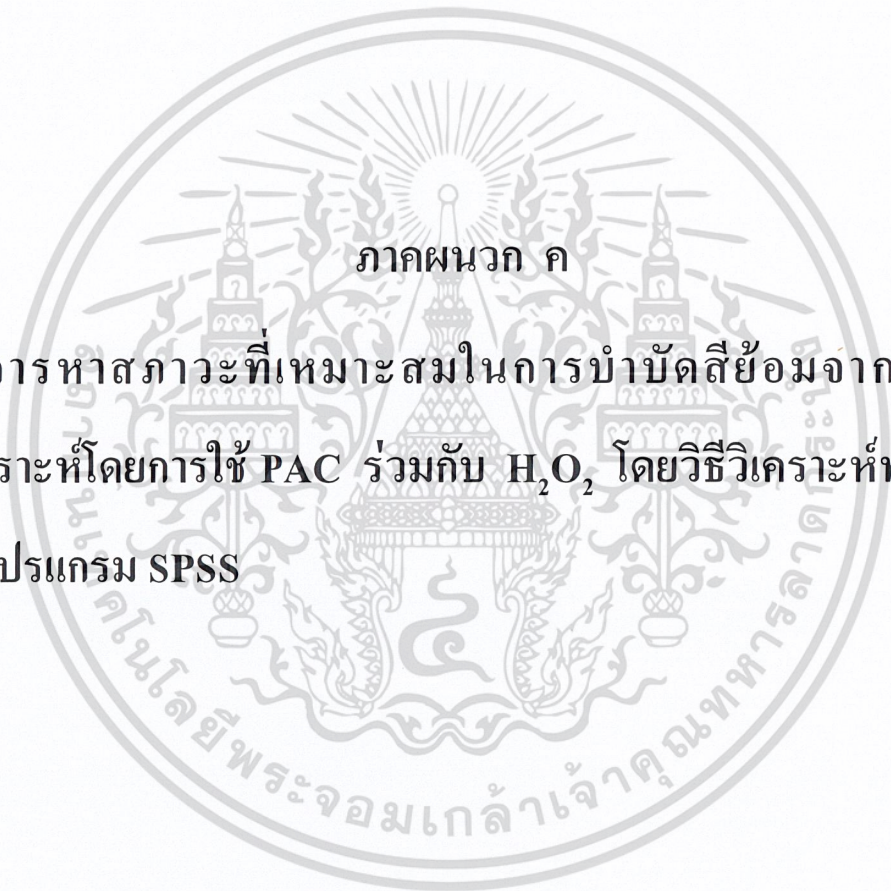
DO<sub>0</sub> ของหัวเชื้อเท่ากับ 9.72 มก./ล.

DO<sub>5</sub> ของหัวเชื้อเท่ากับ 5.08 มก./ล.

สัดส่วนที่ทำการเจือจางคือใช้น้ำตัวอย่าง 100 มล.

$$\text{จะได้ค่าบีโอดี} = \frac{(10.14 - 3.14) - (9.72 - 5.08)}{(100/1000)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (มก O<sub>2</sub>/ล.) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

การหาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมจากน้ำเสีย  
สังเคราะห์โดยการใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  โดยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ  
ด้วยโปรแกรม SPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การหาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้ PAC ร่วมกับ $H_2O_2$ โดยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อก (Randomied Block Desing, RBD) ชนิดบล็อกสมบูรณ์ (Complete Block) จากแผนการทดลองดังกล่าวใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกสองทางแบบพารามตริก (Two-Ways Analysis of Variances By Parametric Method) ตัวแบบที่วิเคราะห์เป็นแบบผลกระทบชนิดคงที่

### ก-1 การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 1. ทดสอบผลกระทบแต่ละปัจจัย

สามารถจำแนกได้ 3 สมมติฐานามจำนวนของปัจจัย ดังนี้

- $H_0$  : ไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าต่างๆของพีเอช ;  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 \dots = \dots \mu_r$   
 $H_1$  : มีอย่างน้อย 2 ค่าของพีเอช ที่มีความแตกต่างกัน ;  $H_1 : \mu_i \neq \mu_j \quad (i \neq j)$
- $H_0$  : ไม่มีความแตกต่างระหว่างปริมาณต่างๆของ PAC ;  $H_0 : \mu_{.1} = \mu_{.2} \dots = \dots \mu_{.c}$   
 $H_1$  : มีอย่างน้อย 2 ปริมาณของ PAC ที่มีความแตกต่างกัน ;  $H_1 : \mu_{.i} \neq \mu_{.j} \quad (i \neq j)$
- $H_0$  : ไม่มีความแตกต่างระหว่างปริมาณต่างๆของ  $H_2O_2$  ;  $H_0 : \mu_{1.} = \mu_{2.} \dots = \dots \mu_{p.}$   
 $H_1$  : มีอย่างน้อย 2 ปริมาณของ  $H_2O_2$  ที่มีความแตกต่างกัน ;  $H_1 : \mu_{.i} \neq \mu_{.j} \quad (i \neq j)$

#### 2. ทดสอบผลกระทบร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย

ทดสอบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลกระทบร่วมกันหรือไม่ จำแนกได้ 2 สมมติฐานดังนี้

- $H_0$  : ไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (ตัวแปร) ทั้ง 3  
 $H_1$  : มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (ตัวแปร) ทั้ง 3
- $H_0$  : ค่าเฉลี่ยของปัจจัยในแต่ละกลุ่มในทุกๆค่าไม่แตกต่างกัน ;  $H_0 : \mu_{11} = \mu_{12} \dots = \dots \mu_{rep}$   
 $H_1$  : มีอย่างน้อย 2 ปริมาณของ PAC ที่มีความแตกต่างกัน ;  $H_1 : \mu_{ijk} \neq \mu_{lmn} \quad (i,j,k \neq l,m,n)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก-2 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบพาราเมตริก

### 1. Between-Subjects Factors

ตารางที่ ก-1 Between-Subjects Factors

Between-Subjects Factors		N
PAC	.0	48
	.5	48
	1.0	48
	1.5	48
H2O2	.000	48
	.025	48
	.050	48
	.080	48
pH	3	48
	6	48
	9	48
	12	48

แสดงจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มย่อยของแต่ละปัจจัย

ปัจจัยปริมาณ PAC มี 4 กลุ่ม มีจำนวนข้อมูลแต่ละกลุ่มคือ 48

ปัจจัยปริมาณ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> มี 4 กลุ่ม มีจำนวนข้อมูลแต่ละกลุ่มคือ 48

ปัจจัยค่าพีเอช มี 4 กลุ่ม มีจำนวนข้อมูลแต่ละกลุ่มคือ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Descriptive Statistics

ตารางที่ ค-2 Between-Subjects Factors

Descriptive Statistics						
Dependent Variable:Efficiency						
PAC	H2O2	pH	Mean	Std. Deviation	N	
.0	.000	3	11.46700	.660654	3	
		6	2.11000	.401867	3	
		9	2.17233	.251774	3	
		12	7.72067	.672956	3	
		Total	5.86750	4.155101	12	
	.025	3	5.89600	1.707019	3	
		6	3.91200	.392080	3	
		9	2.89167	.851518	3	
		12	11.74433	.225976	3	
		Total	6.11100	3.675827	12	
	.050	3	6.55167	.947387	3	
		6	3.02667	.173368	3	
		9	2.55133	.276482	3	
		12	14.68000	.675500	3	
		Total	6.70242	5.100288	12	
	.080	3	4.31333	1.392141	3	
		6	2.70567	.045391	3	
		9	1.92133	.245011	3	
		12	14.68133	.678986	3	
		Total	5.90542	5.409677	12	
	Total	3	7.05700	2.986473	12	
		6	2.93858	.725069	12	
		9	2.38417	.562758	12	
		12	12.20658	3.023851	12	
Total		6.14658	4.500473	48		
.5	.000	3	77.40167	1.455705	3	
		6	84.20900	.716461	3	
		9	90.16633	.946323	3	
		12	99.13333	.060871	3	
		Total	87.72758	8.378512	12	
	.025	3	66.94567	.746507	3	
		6	89.08400	.579596	3	
		9	93.24500	.603366	3	
		12	98.93933	.164506	3	
		Total	87.05350	12.673291	12	
		3	76.42467	.677340	3	
		6	86.89533	.660152	3	
		9	92.22467	.616847	3	
12	98.85700	.299887	3			
Total	88.60042	8.587500	12			
.080	3	81.48933	.938055	3		
	6	87.93467	1.519231	3		
	9	92.75600	.396531	3		
	12	98.50000	.091307	3		
	Total	90.17000	6.578119	12		
Total	3	75.56533	5.628977	12		
	6	87.03075	2.049984	12		
	9	92.09800	1.351178	12		
	12	98.85742	.284419	12		
	Total	88.38787	9.099178	48		
1.0	.000	3	97.35067	.337601	3	
		6	97.35700	.227304	3	
		9	97.77133	.093853	3	
		12	99.13400	.023065	3	
		Total	97.90325	.783791	12	
	.025	3	97.26800	.091033	3	
		6	97.40733	.039627	3	
		9	97.84100	.239518	3	
		12	99.31400	.083289	3	
		Total	97.95758	.855124	12	
		.050	3	97.20933	.199550	3
			6	97.44267	.155565	3
			9	97.82467	.042525	3
12	99.28900		.098534	3		
Total	97.94142		.852483	12		

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออกจากรั้วมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5	.080	3	97.37233	.182511	3	Total	.000	Total	98.35119	.761023	48
		6	97.97667	.539548	3			3	70.74067	36.719484	12
		9	97.96233	.260204	3			6	70.47467	41.633020	12
		12	99.22267	.059028	3			9	71.94625	42.202299	12
		Total	98.13350	.753772	12			12	75.85675	41.094997	12
	Total	3	97.30008	.200435	12		Total	72.25458	39.218007	48	
		6	97.54592	.368091	12		.025	3	67.13375	39.218471	12
		9	97.84983	.173198	12			6	72.18367	41.341987	12
		12	99.23992	.095139	12			9	73.17300	42.439226	12
		Total	97.98394	.791197	48			12	77.33808	39.555079	12
	Total	72.45713	39.511737	48	.050			3	69.56883	39.070476	12
	.000	3	96.74333	.377399			3	6	71.40492	41.499500	12
		6	98.22267	.114159			3	9	72.82342	42.455896	12
		9	97.67500	.898846			3	12	78.04700	38.213643	12
		12	97.43900	.112054			3	Total	72.96104	39.168005	48
		Total	97.52000	.696387	12		.080	3	70.31492	40.406615	12
	.025	3	98.42533	.081132	3			6	71.70325	41.837409	12
		6	98.33133	.157348	3			9	72.84208	42.834740	12
		9	98.71433	.073385	3			12	77.92708	38.141226	12
		12	99.35467	.032716	3			Total	73.19683	39.624674	48
Total		98.70642	.425927	12	Total	3	69.43954	37.641979	48		
.050	3	98.08967	.981827	3		6	71.44163	40.234463	48		
	6	98.25500	.112414	3		9	72.69619	41.107996	48		
	9	98.69300	.013229	3		12	77.29223	38.005949	48		
	12	99.36200	.144696	3		Total	72.71740	39.072414	192		
	Total	98.59992	.667542	12	.080	3	98.08467	.677903	3		
.080	6	98.19600	.039051	3		6	98.19600	.039051	3		
	9	98.72867	.093853	3		9	98.72867	.093853	3		
	12	99.30433	.178023	3		12	99.30433	.178023	3		
	Total	98.57842	.589440	12		Total	98.57842	.589440	12		
	Total	97.83575	.860621	12	Total	3	97.83575	.860621	12		
Total	6	98.25125	.110699	12		6	98.25125	.110699	12		
	9	98.45275	.607985	12		9	98.45275	.607985	12		
	12	98.86500	.867197	12		12	98.86500	.867197	12		
	Total	98.86500	.867197	12		Total	98.86500	.867197	12		

แสดงค่าสถิติเบื้องต้นของตัวแปร (ปริมาณ PAC H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> และค่าพีเอช) ที่ต้องการทดสอบ จำแนกตามปัจจัยย่อยของปัจจัยหนึ่งในแต่ละระดับของอีกปัจจัยหนึ่งแสดงค่าสถิติ

เบื้องต้นของตัวแปร (ปริมาณ PAC H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> และค่าพีเอช) ที่ต้องการทดสอบ จำแนกตามปัจจัยย่อยของปัจจัยหนึ่งในแต่ละระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง โดยแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าการกระจายของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Std. Deviation) เช่น ปริมาณ PAC 1.5 g. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0 mM และค่าพีเอช 3 มีค่าเฉลี่ย 96.74333 ค่าการกระจายของข้อมูล 0.377399 จำนวน 3 ตัวอย่าง (ตัวหนาในตารางที่ ค-2 Between-Subjects Factors)

### 3. Tests of Between-Subjects Effects

ตารางที่ ค-3 Tests of Between-Subjects Effects

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Efficiency

Source	Type IV Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	291547.531 <sup>a</sup>	63	4627.739	13681.786	.000
Intercept	1015261.374	1	1015261.374	3001593.259	.000
PAC	286690.867	3	95563.622	282531.309	.000
H2O2	27.416	3	9.139	27.018	.000
PAC * H2O2	54.735	9	6.082	17.980	.000
pH	1598.471	3	532.824	1575.279	.000
PAC * H2O2 * pH	3176.043	45	70.579	208.664	.000
Error	43.295	128	.338		
Total	1306852.200	192			
Corrected Total	291590.826	191			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

จากสมมติฐานในการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า ปัจจัยแต่ละปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยมีอย่างน้อย 2 ค่าที่มีความแตกต่างกันและมีผลกระทบร่วมกันระหว่างค่าพีเอช ปริมาณ PAC และปริมาณของ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

### 4. Estimated Marginal Means

ตารางที่ ค-4 Dependent Variable: PAC

#### 1. PAC

Dependent Variable: Efficiency

PAC	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
.0	6.147	.084	5.980	6.313
.5	88.388	.084	88.222	88.554
1.0	97.984	.084	97.818	98.150
1.5	98.351	.084	98.185	98.517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 Dependent Variable: H2O2

## 2.H2O2

Dependent Variable:Efficiency

pH	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
.000	72.255	.084	72.088	72.421
.025	72.457	.084	72.291	72.623
.050	72.961	.084	72.795	73.127
.080	73.187	.084	73.031	73.363

ตารางที่ ค-6 Dependent Variable: pH

## 3. pH

Dependent Variable:Efficiency

pH	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
3	69.440	.084	69.273	69.606
6	71.442	.084	71.276	71.608
9	72.696	.084	72.530	72.862
12	77.292	.084	77.126	77.458

ตารางที่ ค-7 Dependent Variable: H2O2 \* PAC \* pH

## 4. H2O2 \* PAC \* pH

Dependent Variable:Efficiency

H2O2	PAC	pH	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.000	.0	3	11.467	.336	10.803	12.131
		6	2.110	.336	1.446	2.774
		9	2.172	.336	1.508	2.837
		12	7.721	.336	7.056	8.385
.5	.0	3	77.402	.336	76.737	78.066
		6	84.209	.336	83.545	84.873
		9	90.166	.336	89.502	90.831
		12	99.133	.336	98.469	99.798
1.0	.0	3	97.351	.336	96.686	98.015
		6	97.357	.336	96.693	98.021
		9	97.771	.336	97.107	98.436
		12	99.134	.336	98.470	99.798
1.5	.0	3	96.743	.336	96.079	97.408
		6	98.223	.336	97.558	98.887
		9	97.675	.336	97.011	98.339
		12	97.439	.336	96.775	98.103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.025	.0	3	5.896	.336	5.232	6.560	1.0	3	97.209	.336	96.545	97.874	
		6	3.912	.336	3.248	4.576			6	97.443	.336	96.778	98.107
		9	2.892	.336	2.227	3.556			9	97.825	.336	97.160	98.489
		12	11.744	.336	11.080	12.409			12	99.289	.336	98.625	99.953
.5	3	66.946	.336	66.281	67.610	1.5	3	98.090	.336	97.425	98.754		
		89.084	.336	88.420	89.748			6	98.255	.336	97.591	98.919	
		93.245	.336	92.581	93.909			9	98.693	.336	98.029	99.357	
		98.939	.336	98.275	99.604			12	99.362	.336	98.698	100.026	
1.0	3	97.268	.336	96.604	97.932	.080	.0	4.313	.336	3.649	4.978		
		97.407	.336	96.743	98.072			6	2.706	.336	2.041	3.370	
		97.841	.336	97.177	98.505			9	1.921	.336	1.257	2.586	
		99.314	.336	98.650	99.978			12	14.681	.336	14.017	15.346	
1.5	3	98.425	.336	97.761	99.090	.5	3	81.489	.336	80.825	82.154		
		98.331	.336	97.667	98.996			6	87.935	.336	87.270	88.599	
		98.714	.336	98.050	99.379			9	92.756	.336	92.092	93.420	
		99.355	.336	98.690	100.019			12	98.500	.336	97.836	99.164	
.050	.0	6.552	.336	5.887	7.216	1.0	3	97.372	.336	96.708	98.037		
		3.027	.336	2.362	3.691			6	97.977	.336	97.312	98.641	
		2.551	.336	1.887	3.216			9	97.962	.336	97.298	98.627	
		14.680	.336	14.016	15.344			12	99.223	.336	98.558	99.887	
.5	3	76.425	.336	75.760	77.089	1.5	3	98.085	.336	97.420	98.749		
		86.895	.336	86.231	87.560			6	98.196	.336	97.532	98.860	
		92.225	.336	91.560	92.889			9	98.729	.336	98.064	99.393	
		98.857	.336	98.193	99.521			12	99.304	.336	98.640	99.969	

แสดงค่าเฉลี่ย(ประสิทธิภาพการบำบัด) โดยประมาณของตัวแปรต่างๆคือ ปริมาณ PAC ที่ 0, 0.5, 1.0, 1.5 กรัม ปริมาณ  $H_2O_2$  ที่ 0, 0.025, 0.050, 0.080 mM ค่าพีเอชที่ 3, 6, 9, 12 และเมื่อใช้ปริมาณ PAC  $H_2O_2$  และค่าพีเอชที่ค่าต่างๆ ที่ต้องการทดสอบ โดยแสดงทั้งค่าเฉลี่ย และช่วงของค่าประมาณที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแสดงข้อมูลดังตาราง ค-4 ถึง ค-7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. Post Hoc Tests

### 5.1 PAC

ตารางที่ ๓-8 Dependent Variable: amount of PAC

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable:Efficiency

	(I) PAC	(J) PAC	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0.0	0.5	-82.24129*	.118715	.000	-82.55032	-81.93226
		1.0	-91.83735*	.118715	.000	-92.14638	-91.52833
		1.5	-92.20460*	.118715	.000	-92.51363	-91.89558
	0.5	0.0	82.24129*	.118715	.000	81.93226	82.55032
		1.0	-9.59606*	.118715	.000	-9.90509	-9.28703
		1.5	-9.96331*	.118715	.000	-10.27234	-9.65428
	1.0	0.0	91.83735*	.118715	.000	91.52833	92.14638
		0.5	9.59606*	.118715	.000	9.28703	9.90509
		1.5	-0.36725*	.118715	.013	-.67628	-.05822
	1.5	0.0	92.20460*	.118715	.000	91.89558	92.51363
		0.5	9.96331*	.118715	.000	9.65428	10.27234
		1.0	0.36725*	.118715	.013	.05822	.67628

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .338.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

#### Efficiency

	PAC	N	Subset			
			1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	0.0	48	6.14658			
	0.5	48		88.38787		
	1.0	48			97.98394	
	1.5	48				98.35119
	Sig.			1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .338.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>ตารางที่ ก-9 Dependent Variable: amount of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

	(I) H2O2	(J) H2O2	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0.000	0.025	-.20254	.118715	.325	-.51157	.10649
		0.050	-.70646*	.118715	.000	-1.01549	-.39743
		0.080	-.94225*	.118715	.000	-1.25128	-.63322
0.025	0.000	0.025	.20254	.118715	.325	-.10649	.51157
		0.050	-.50392*	.118715	.000	-.81295	-.19489
		0.080	-.73971*	.118715	.000	-1.04874	-.43068
0.050	0.000	0.025	.70646*	.118715	.000	.39743	1.01549
		0.050	.50392*	.118715	.000	.19489	.81295
		0.080	-.23579	.118715	.199	-.54482	.07324
0.080	0.000	0.025	.94225*	.118715	.000	.63322	1.25128
		0.050	.73971*	.118715	.000	.43068	1.04874
		0.080	.23579	.118715	.199	-.07324	.54482

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .338.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Efficiency

H2O2	N	Subset		
		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	.000	48	72.25458	
	.025	48	72.45713	
	.050	48		72.96104
	.080	48		73.19683
	Sig.		.325	.199

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .338.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 48.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 pH

ตารางที่ ค-10 Dependent Variable: amount of pH

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Efficiency

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD 3	6	-2.00208*	.118715	.000	-2.31111	-1.69305
	9	-3.25665*	.118715	.000	-3.56567	-2.94762
	12	-7.85269*	.118715	.000	-8.16172	-7.54366
6	3	2.00208*	.118715	.000	1.69305	2.31111
	9	-1.25456*	.118715	.000	-1.56359	-.94553
	12	-5.85060*	.118715	.000	-6.15963	-5.54158
9	3	3.25665*	.118715	.000	2.94762	3.56567
	6	1.25456*	.118715	.000	.94553	1.56359
	12	-4.59604*	.118715	.000	-4.90507	-4.28701
12	3	7.85269*	.118715	.000	7.54366	8.16172
	6	5.85060*	.118715	.000	5.54158	6.15963
	9	4.59604*	.118715	.000	4.28701	4.90507

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .338.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## Efficiency

	pH	N	Subset			
			1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	3	48	69.43954			
	6	48		71.44163		
	9	48			72.69619	
	12	48				77.29223
	Sig.			1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .338.

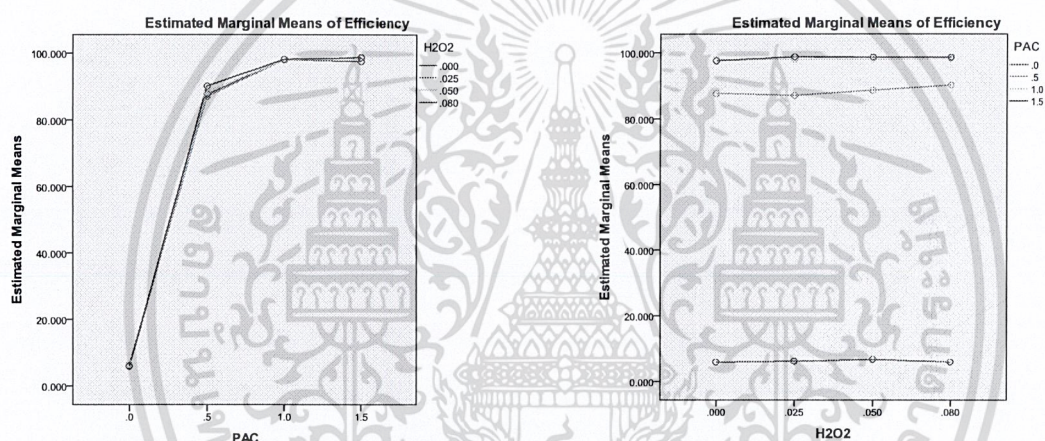
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 48.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของ Post Hoc Tests แสดงค่าสถิติ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple Comparison) ซึ่งส่วนนี้จะนำมาพิจารณาเมื่อมีการปฏิเสธสมมติฐานจากค่า Sig.F ของตารางที่ ค-3 Tests of Between-Subjects Effects (ซึ่งเมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่าปฏิเสธสมมติฐานตามข้อมูลใน Tests of Between-Subjects Effects)

## 6. Profile Plots

แสดงกราฟเส้นของตัวแปรที่ต้องการทดสอบ จากกราฟทั้ง 2 กราฟ กราฟเส้นมีลักษณะเป็นเส้นแบบขนานกันแสดงว่า 2 ปัจจัย(PAC และ  $H_2O_2$ ) นั้นไม่มีผลกระทบร่วมกัน



รูปที่ ค-1 Estimated Marginal Means of Efficiency

ดังนั้นจากการใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัด สีย้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้ PAC ร่วมกับ  $H_2O_2$  นั้น สามารถเลือกสถานะที่เหมาะสมได้คือ ค่าพีเอช 9 ปริมาณ PAC 1.0 และปริมาณ  $H_2O_2$  0.025 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้