

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสีย้อมรีเอกทีฟด้วยไหมและแกลบดำ



T107738



สง.
พ.ศ. ๒๕๕๓
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...107738
วัน,เดือน,ปี...10 พ.ค. 2553

b.....12210229
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Reactive Dye by Silk and Rice Husk



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดสีย้อมรีเอกทีฟด้วยไหมและเกลบดำ
นักศึกษา	นางสาวพิศุภ แก่นจำปา นางสาวสรัญญา แสงอุทัย
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. มาลีณี ชัยสุภกิจสินธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมรีเอกทีฟสีน้ำเงินและสีแดงด้วยไหมและเกลบดำโดยทำการทดลองทั้งแบบครึ่งและแบบต่อเนื่องผ่านคอลัมน์ ซึ่งสถานะที่ใช้ในการทดลองแบบครึ่งคือ ความเข้มข้นสารละลายสีย้อม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง ความเร็วในการปั่นกววน 150 รอบต่อนาที และปริมาตรของสีย้อม 50 มิลลิลิตร ส่วนสถานะที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องคือ ความเข้มข้นสารละลายสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชของสีย้อมเท่ากับ 9 และอัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมรีเอกทีฟสีน้ำเงินในการทดลองแบบครึ่งด้วยไหมและเกลบมีค่าเท่ากับ 57.27% 61.76% ขณะที่สีแดงจะมีค่าเท่ากับ 12.81% 18.62% ตามลำดับ เกลบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำเงินและสีแดงดีกว่าไหม ส่วนในการทดลองแบบคอลัมน์ไหมมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแดงดีกว่าเกลบ ส่วนการกำจัดสีย้อมสีน้ำเงิน ไหมและเกลบดำมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	: The removal of reactive dye with silk and black rice husk
Students	: Miss Phikul Kanjampa : Miss Sarunya Saengautai
Department	: Chemistry, Faculty of Science
program	: Environmental Resource Chemicals
Academic Year	: 2005
Special Project Advisor	: Associated Professor, Dr. Malinee Chaisupakitsin
Special Project co- advisor	: Assistant Professor Pitsamai Chairatutai

ABSTRACT

This special project aims to study the efficiency of silk residues and black rice husk on the removal of reactive dyes; blue and red. Batch and continuous column were used in this experiment. The conditions of batch were 50 ml of 10 ppm dyes, 0.25 g of silk residues, contact time 1 hour, rotating speed 150 rpm. In case of continuous column dyes concentration was 100 ppm, pH 9, rate of flow 1 ml/min. It was found that In case of batch method the removal efficiency of silk residues and black rice husk for reactive blue were 57.27% and 61.76%; respectively, while for reactive red were 12.81% and 18.62%; respectively. The results showed that black rice husk have efficiency removal better than silk residues. On the other hand the continuous column show that silk residues has removal efficiency of reactive red higher than black rice husk. However, the removal efficiency the reactive blue was similar in both red silk residues and black rice husk.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ที่ให้คำปรึกษากับคณะผู้จัดทำในการทำรายงานฉบับนี้ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา และขอขอบใจเพื่อน ๆ เหมิทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการค้นหาข้อมูล และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา รายงานฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าไม่ได้หอสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ที่เป็นแหล่งค้นคว้าหาข้อมูล และห้องคอมพิวเตอร์คณะวิทยาศาสตร์ที่เป็นแหล่งค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจนเกิดเป็นรายงานฉบับนี้ขึ้น



นางสาวพิกุล แก่นจำปา

นางสาวสรัญญา แสงอุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สีย้อม	3
2.1.1 คุณสมบัติของสีย้อม	3
2.1.2 การตั้งชื่อสี	4
2.1.3 องค์ประกอบของสีย้อม	4
2.1.4 การจำแนกสีย้อม	5
2.1.5 สีย้อมรีแอคทีฟ	8
2.2 เศษค้าย้อม	9
2.3 แกลบ	13
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของแกลบ	13
2.3.2 สัณฐานวิทยาของแกลบ	13
2.3.3 องค์ประกอบของแกลบ	14
2.4 การดูดซับ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.4.1 ประเภทของการดูดซับ	18
2.4.2 กลไกการดูดซับ	20
2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	20
2.4.4 การบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่อง	21
2.4.5 ความจุในการดูดซับของตัวดูดซับ	26
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	30
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	30
3.3 การเตรียมเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย	31
3.4 การเตรียมกรวยมาตรฐาน	31
3.5 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดสี้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยไหม	31
3.5.1 ศึกษาผลของเวลาในการสัมผัส	31
3.5.2 ศึกษาผลของความเร็วในการปั่นกวน	32
3.5.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาณตัวดูดซับต่อปริมาตรสี้อม	32
3.6 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด	33
3.6.1 การทดลองแบบครึ่ง	33
3.6.2 การทดลองแบบคอลัมน์	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	34
4.1 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดแบบเบซท์	34
4.1.1 ผลการศึกษาเวลาสัมผัส	34
4.1.2 ผลการศึกษาความเร็วในการปั่นกวน	35
4.1.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาณตัวดูดซับต่อปริมาตรสี้อม	35
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสี้อมรีแอกทีฟด้วยไหมและเกลบดำ	
แบบเบซท์	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยไหมและเกลบดำแบบคอลัมน์	37
4.3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟสีแดงของไหมและเกลบ	37
4.3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินของไหมและเกลบ	39
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	45
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	58
ภาคผนวก ค	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน(Reactive blue 2)	8
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟสีแดง(Reactive red 141)	9
รูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบ α - เฮลิกซ์	11
รูปที่ 2.4 โครงสร้าง β - ชีท ของพอลิเพปไทด์	11
รูปที่ 2.5 โครงสร้างแผ่นพอลิเพปไทด์แบบขนาน(ก) และแบบไม่ขนาน (ข)	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้าง 3 มิติของไหม	13
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเซลลูโลส	15
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของน้ำตาลต่างๆ ที่ประกอบเป็นเฮมิเซลลูโลส	16
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของลิกนิน	17
รูปที่ 2.10 การดูดซับด้วยแรงกายภาพในลักษณะต่างๆ	19
รูปที่ 2.11 แสดงกลไกการดูดซับในระยะต่างๆ	20
รูปที่ 2.12 ระบบ Continuous Flow Carbon System แบบต่างๆ	22
รูปที่ 2.13 Continuous Flow Carbon Fixed Bed System	23
รูปที่ 2.14 แสดง MTZ ที่เกิดขึ้นระหว่าง breakthrough curve	24
รูปที่ 2.15 ชุดทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ	25
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลาเมื่อใช้ไหมในการดูดซับสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน	34
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดกับความเร็วรอบเมื่อใช้ไหมในการดูดซับสีรีแอคทีฟสีน้ำเงิน	35
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดกับอัตราส่วนปริมาณใหม่ต่อปริมาตรสีย้อมรีแอคทีฟสีน้ำเงิน	36
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟสีน้ำเงินและสีแดงของไหม	37
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่กับปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์	38
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่กับปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแกลบ	14
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของแซคคาไรค์และลิกนิน	15
ตารางที่ 2.3 ปริมาณเถ้าและปริมาณซิลิกาในส่วนต่างๆ ของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ประเทศไทยปัจจุบันมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะ อุตสาหกรรมการฟอกย้อม น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฟอกย้อมจะมีการปนเปื้อนของ สีสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนี้เกิดจากสีย้อมที่ใช้ไม่หมดในการย้อมหรือการพิมพ์ผ้า รวมทั้งจากการ ซักล้างหรือการปรับแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมมาแล้ว สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม ฟอกย้อม มักเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตร โครงสร้างซับซ้อน ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โดยเป็นสารก่อมะเร็ง ถ้าปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำของแ่ง ทำให้เกิดสภาพ ไร้ออกซิเจนในแหล่งน้ำและทำให้แหล่งน้ำไม่น่ามองเนื่องจากความขุ่น

สีย้อมที่ใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นประเภทเอโซ (Azo) ซึ่ง จัดเป็นกลุ่มสีที่มีการใช้งานมากที่สุดกลุ่มหนึ่ง สีย้อมที่ใช้ในการทดลองสามารถย้อมเส้นใยได้หลาย ประเภท (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงานกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวง อุตสาหกรรม, 2542) สีย้อมประเภทเอโซประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนที่มีพันธะคู่ของ ไนโตรเจน(N=N) การแสดงสีของสีย้อมประเภทนี้ขึ้นกับพันธะเอโซกับกลุ่มอะตอมที่เรียกว่า โครโมฟอร์ ในการทดลองนี้จะใช้สีย้อมกลุ่มรีแอกทีฟ 2 ชนิด คือ สีน้ำเงินและสีแดง

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม โดยทั่วไปจะใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การตกตะกอนด้วยสารเคมี การทดลองนี้จะใช้การบำบัดด้วยการดูดซับโดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ คือ ไหมและแกลบ เนื่องจากมีความสามารถเป็นตัวดูดซับที่มีราคาถูก หาง่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบของการทดลองแบบ แบทช์
- 2.ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบของการทดลองแบบแบทช์ และแบบคอลัมน์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้น้ำเสียดังเคราะห์โดยมีความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 10 มิลลิกรัม/ลิตรและ 100

มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้ไหมและแถบดำเป็นตัวกำจัดสีข้อม

3. ทดสอบการบำบัดสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินและแดงโดยการทดลองแบบเบทซ์โดยแปรค่าเวลาที่ 1 3 และ 5 ชั่วโมง ความเร็วในการปั่นกวนที่ 150 250 และ 300 และปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์

4. ทำการบำบัดแบบเบทซ์ที่สภาวะเหมาะสมจากข้อ 3

5. ทำการบำบัดแบบคอลัมน์ที่สภาวะดังนี้ อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที พีเอช 9 ความเข้มข้นสารละลายสีข้อม 100 มิลลิกรัม/ลิตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีข้อมที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. เป็นทางเลือกในการกำจัดสีข้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สีย้อม

สีย้อมเป็นสารที่ละลายน้ำได้ หรือสามารถทำให้ละลายน้ำได้ ดูดติดเส้นใยได้ การนำสีมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นกับความสามารถในการรวมตัว ของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าความสามารถในการรวมตัวของสีกับน้ำ ภายใต้สภาวะที่โมเลกุลของสีย้อมจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดติดกันแน่น อิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใย คือ

1. พันธะไฮโดรเจน(Hydrogen bond)
2. แรงแรงแวนเดอร์วาลส์(Van der Waal's forces)
3. แรงไอออนิก(Ionic forces)
4. พันธะโควาเลนต์(Covalent bond)

การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของเส้นใยจะต้องประกอบด้วยแรงตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปบางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกันไป แต่แรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุดได้แก่ พันธะโควาเลนต์ นอกจากนี้รูปร่างและขนาดโมเลกุลของสีก็มีผลต่อการย้อมเป็นอย่างมาก เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น ทำให้การติดสีดีขึ้นหรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบน และมีความกว้างยาวมาก ๆ จะทำให้เกิดการติดสีที่มีความคงทนมากขึ้น(วาทรี, 2543)

2.1.1 คุณสมบัติของสีย้อม

ในสีย้อมแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปในสภาพการละลาย หรือ สารแขวนลอย เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ การรวมตัวในสารละลาย การย่อยสลายในระหว่างการย้อมสี อัตราการเกิดปฏิกิริยา การให้และการรับอิเล็กตรอน สำหรับโครงสร้างทางเคมีของสีแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติของสีดังนี้

1. ความเหมาะสมต่อเส้นใยชนิดหนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับอนุมูลของสีย้อมและเส้นใย
2. ความสามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับเส้นใยหนึ่งๆ
3. จลนพลศาสตร์ของสีย้อม
4. คุณสมบัติการเคลื่อนตัวและความสม่ำเสมอของสี
5. ความทนต่อแสง
6. ความทนต่อความชื้น
7. ความทนต่อความร้อน และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การตั้งชื่อสี

สมาคมผู้ประกอบการสีย้อมในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ (American Association of Textile Chemists and Colourists และ Society of Dyes and Colourists) ได้ร่วมกันจัดทำทะเบียนรายชื่อสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดขึ้นเรียกว่า Colour index โดยตั้งชื่อให้กับสีแต่ละตัวเรียกว่า CI Generic Name โดยมีองค์ประกอบดังนี้

CI+ชื่อประเภทสี+เจดสี+หมายเลขลำดับ

โดยที่ประเภทของสีแบ่งออกเป็น 17 ประเภทคือ Acid, Azoic, Direct, Disperse, Fluorescent, Briteners, Food, Ingain, Leather, Mordant, Oxidation, Pigment, Reactive, Solvent, Sulphur และ Vat ส่วนเจดสีจะแบ่งออกเป็น 8 เจดสีคือ Yellow, Ingrain, Orange, Red, Violet, Blue, Geen, Brown และ Black (ราชตรี, 2543)

ตัวอย่างการเรียกชื่อสี เช่น CI Acid Yellow 1 หมายถึง สีแอซิดสีเหลืองหมายเลขหนึ่ง

2.1.3 องค์ประกอบของสีย้อม

สีย้อมเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็น 2 กลุ่ม (Heinrich, 1987) คือ

1. กลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophores group) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่ สามารถให้สีได้โดยสามารถดูดกลืนรังสีในช่วงอัลตราไวโอเลต (UV ranges) และช่วงที่มองเห็นได้ (visible ranges) ตั้งแต่ 200-800 นาโนเมตร ตัวอย่างโครโมฟอร์ ได้แก่

C=C	ethylenic chromophores
C=O	carbonyl chromophores
-N=O	nitroso chromophores
O--N ⁺ =O	nitro chromophores
-N=N-	azo chromophores

2. กลุ่มออกโซโครม (Auxochrom group) เป็นกลุ่มที่ทำให้สีเกาะติดกับให้เส้นใย ปกติแล้วหมายถึง saturated group ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และไม่สามารถดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่นเกิน 200 นาโนเมตร แต่เมื่อไปเกาะในตำแหน่งที่ติดกับโครโมฟอร์ จะทำให้เกิด resonance interaction ทำให้โครโมฟอร์ดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น

ตัวอย่างออกโซโครม ได้แก่

-OH	hydroxyl
-NH ₂	amino
-COOH	carboxylic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมสามารถจำแนกออกได้หลายแบบ เช่น จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี ชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะการใช้งาน

2.1.4.1 จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี

1. สีไนโตรโซ โครงสร้างทางเคมีเป็นสารอะโรมาติกที่มีหมู่ไนโตรโซ (-N=N-) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรืออินดามันที่ติดกันในวงเบนซีน ซึ่งในการย้อมจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะต่างๆ เช่น เหล็ก โครเมียม โคบอลต์และนิกเกิล เป็นต้น

2. สีไนโตร (Nitro dyes) โครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่ไนโตร (-NO₂) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่อะมิโน (-NH₂) ในตำแหน่งที่ติดกัน หรือตรงกันข้ามกันในวงแหวนวงเบนซีน โครงสร้างของสารประกอบอะโรมาติกเป็นโครงสร้างควิโนควอดแบ่งออกเป็นสีซัลโฟเนตไนโตร (sulfonated nitro dyes) ใช้สำหรับย้อมขนสัตว์ และสีอันซัลโฟเนตไนโตร (unsulfonated nitro dyes) เป็นสีพิกเมนต์

3. สีอะโซ เป็นสีที่มีหมู่ (-N=N-) หนึ่งกลุ่มหรือมากกว่า ทำหน้าที่เป็นโครโมฟอร์ และมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรืออะมิโน (-NH₂) เป็นออกโซโครม สารตัวกลางในปฏิกิริยามี 2 ชนิด คือ ไดอะโซ Diazo และสารร่วมทำปฏิกิริยา (coupling) ภายใต้สภาวะกรดหรือด่าง

ไดอะโซเนียม (Diazonium) ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะริลลามีนหรือเฮเทอโรไซคลิกอะมีน (Heterocyclic amine) กับสารร่วมทำปฏิกิริยา สีอะโซเป็นกลุ่มสีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ซึ่งสีย้อมชนิดนี้ใช้ย้อมได้กับเส้นใยทุกชนิด (อังกฤษ, 2540)

สีย้อมอะโซ สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ (Rangneker, 1980)

1) Monoazo dyes ประกอบด้วยโครโมฟอร์อะโซเพียง 1 กลุ่ม สามารถแบ่งออกเป็น 8 ชนิด ได้แก่

- 1.1 Monoazo direct dye
- 1.2 Monoazo acid dyes
- 1.3 Monoazo food colors
- 1.4 Monoazo mordent dyes
- 1.5 Monoazo solvent dyes
- 1.6 Monoazo disperse dyes
- 1.7 Monoazo cationic dyes
- 1.8 Monoazo reactive dyes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) Diazo หรือ Biazo dyes มีโครโมฟอร์อะโซ 2 กลุ่ม
- 3) Triazo dyes มีโครโมฟอร์อะโซ 3 กลุ่ม
- 4) Polyazo dyes ประกอบด้วยโครโมฟอร์อะโซตั้งแต่ 4 กลุ่มขึ้นไป
- 5) Modant azo dyes คือกลุ่มอะโซที่มีสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ ทำหน้าที่เป็นมอร์แดนท์หรือตัวช่วยเพิ่มการยึดเกาะ
- 6) Stibene azo dyes ประกอบด้วยอะโซหนึ่งกลุ่มหรือมากกว่า ซึ่งให้สีเหลืองหรือส้มที่สามารถย้อมได้เร็วและมีการยึดเกาะที่ดีสำหรับเส้นฝ้าย
- 7) Pyrazolene azo dyes เป็นสีย้อมอะโซที่มีหมู่ไพราซอลในโครงสร้าง
4. สีอะโซอิก (Azoic dyes) เป็นสีอะโซที่ไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายต่าง ๆ ต้องเตรียมขึ้นบนเส้นใยมีโครโมฟอร์ และออกโซโครมเหมือนสีอะโซ
5. สีสติลเบน (Stilbene dyes) โครงสร้างมีสติลเบน ($C_6H_5-CH=CH-C_6H_5$) และหมู่อะโซเป็นโครโมฟอร์
6. สีคาโรทีนอยด์ (Carotoid dyes) โครงสร้างเป็นหมู่ไฮพอลิอิน (polyene) ของคาร์บอนอย่างน้อย 18 อะตอมเป็นโครโมฟอร์ สีชนิดนี้เป็นสีทั่วไปที่พบในธรรมชาติ สำหรับคาโรทีนอยด์ที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อเป็นสีผสมอาหาร เช่น เบต้าคาโรทีน เป็นต้น
7. สีไดฟีนิลมีเทน (Diphenylmethane dyes) โครงสร้างเป็นไดฟีนิลมีเทน มีหมู่อิมินเป็นโครโมฟอร์ และหมู่อะมิโนเป็นออกโซโครม ส่วนใหญ่ใช้ย้อมกระดาษ นอกจากนี้อาจใช้ย้อมไหมหนัง ฝ้าย หรือเส้นใยอะคริลิก
8. สีแซนทีน (Xanthrene dyes) โครงสร้างหลักเป็นแซนทีน (Dibenzo-1,4-pyran) และมีหมู่อะมิโนหรือหมู่ไฮดรอกซิลเป็นออกโซโครม โครโมฟอร์เป็นโครงสร้างควิโนคอยด์ นิยมเรียกสีชนิดนี้ว่า สีอะมิโนแซนทีน (amino xanthrene dye) หรือสีไฮดรอกซิลแซนทีน (hydroxyl xanthenedye) สีย้อมกลุ่มนี้ให้สีสดใส เนื่องจากสารละลายให้ฟลูออเรสเซนต์ ใช้ย้อมขนสัตว์และไหมได้ ใช้ย้อมผ้าฝ้ายโดยใช้แทนนินเป็นมอร์แดนท์
9. สีอะคริดีน (Acridine dyes) โครงสร้างหลักเป็นอะคริดีนและมีหมู่อะมิโนเป็นออกโซโครม มีโครโมฟอร์เป็นโครงสร้างเป็นควิโนคอยด์ สีชนิดนี้ใช้ย้อมหนัง และใช้เป็นสีเบสิกสำหรับย้อมไหมและเซลลูโลส
10. สีควิโนลีน (Quinoline dyes) โครงสร้างหลักเป็นควิโนลีน สีกลุ่มนี้มีโครโมฟอร์คือ 2(2-Quinolylyl)-1,3-indandiene สีพวกนี้นิยมใช้เป็นตัวทำละลายและสีเบสิกสำหรับย้อมกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สีแอนทราควิโนน (Antraquinone dyes) โครงสร้างหลักเป็น แอนทราควิโนนเป็น โครโมฟอร์ มีหมู่อะมิโน และไฮดรอกซิลเป็นออกโซโครม นิยมใช้เป็นสีย้อม สีแอสิด สีเมอร์แคนท์

12. สีอินดิโกอยด์ (Indigoid dyes) โครโมฟอร์ คือ $-CO-C=C-CO-$ และมีหมู่อะมิโนหรือ ซัลเฟอร์เป็นออกโซโครม ใช้เป็นสีย้อมในการย้อมผ้า

13. สีไทอะโซล (Thiazole dyes) โครงสร้างหลักคือ วงแหวนไทอะโซลเป็นโครโมฟอร์ มีหมู่อะมิโนเป็นออกโซโครม สีชนิดนี้ใช้ย้อมผ้าโดยตรง

14. สีซัลเฟอร์ (Sulfur dyes) เป็นสีที่มีโครงสร้างทางเคมี มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบทาง โครงสร้างทางเคมี สีซัลเฟอร์นี้ไม่ละลายน้ำและไม่ติดเส้นใยต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบ ลิวโค (Leuco compound) โดยทำปฏิกิริยากับไฮโดรซัลไฟด์ (sodium hydrosulfide) ก่อน ทำให้ สีเกาะติดเส้นใย นิยมใช้ย้อมเส้นใย เซลลูโลส ผ้าไหม และขนสัตว์

15. สีฟธาโลไซยานิน (Phthalocyanin dyes) สีกลุ่มนี้มี terabenzoporphyzine เป็น โครโมฟอร์และโครงสร้างโมเลกุลที่สามารถจับโลหะ มีสมบัติคงทนต่อแสง ความร้อน กรด และเบส ใช้สำหรับสีเคลือบผิวหมึกพิมพ์ พลาตติก เส้นใย ยาง เป็นต้น

2.1.4.2 จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. สีชนิดที่ละลายน้ำได้

- สีแอสิด
- สีเบสิก
- สีไลเรกซ์
- สิริเอกทีฟ

2. สีชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้

- สีเอโซ
- สีดิสเพอร์ส
- สีแวค
- สีพิกเมนต์
- สีซัลเฟอร์
- สีเมทัลคอมเพล็กซ์

2.1.4.3 จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี

1. สีย้อมผ้า ได้แก่ สีไลเรกซ์ สิริเอกทีฟ สีแวค สีซัลเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

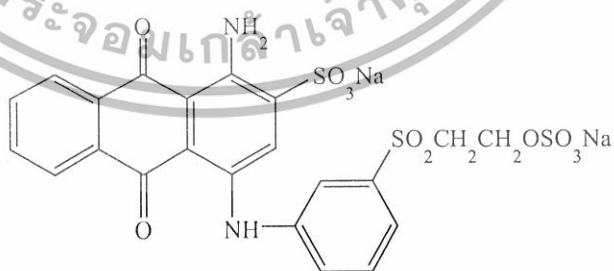
2. สีย้อมโพลีเอสเทอร์ ได้แก่ สีติสเพอร์ส
3. สีย้อมไนลอน ไหม และขนแกะ ได้แก่ สีแอสิด สีเมทัลคอมเพล็กซ์
4. สีย้อมอะคริลิก ได้แก่ สีเบสิค

2.1.5 สีย้อมรีแอกทีฟ

สีย้อมรีแอกทีฟเป็นสีที่ใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ละลายน้ำได้ดี และย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดี โดยจะมีคุณสมบัติเป็นอไอออนลบ เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (OH) ของเซลลูโลสแล้วเชื่อมติดกันโดยพันธะโควาเลนต์แบบคลอสลิงค์ (Cross link) กับเซลลูโลส ซึ่งมีความแข็งแรงสูงแต่สัดส่วนในการเชื่อมติดไม่เกิน 80% เนื่องจากผลกระทบของประจุลบที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของเส้นใยจะไปต่อต้านการเคลื่อนที่ของสีรีแอกทีฟ ซึ่งมีประจุลบเช่นกันทำให้ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้สะดวก ในการย้อมจึงจำเป็นต้องเติมอิเล็กโทรไลต์ หรือเกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ หรือโซเดียมซัลเฟต กลไกการย้อมสีรีแอกทีฟจะใช้เกลือเป็นตัวลดประจุบนพื้นผิวของเส้นใย ทำให้สีย้อมสามารถเข้าใกล้เส้นใยได้ และเป็นตัวส่งเสริมการดูดซับให้สีสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น (ปิยนุช, 2544) โครงสร้างทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบของรีแอกทีฟมีได้หลายประเภท เช่น กลุ่มเอโซ(Azo) แอนทราควิโนน(Anthraquinone) ฟาธาโลไซยานิน(Phthalocyanin) เป็นต้น

2.1.5.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ

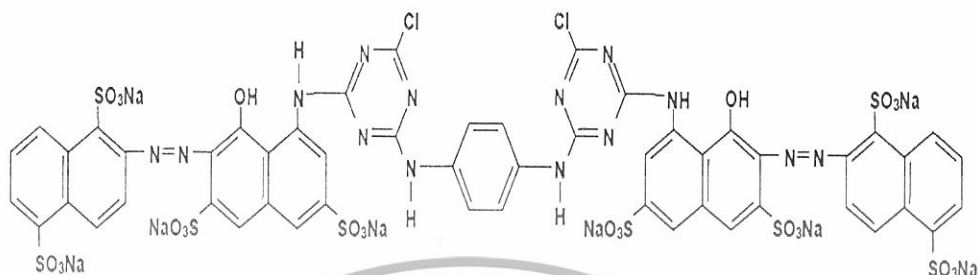
1. สีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน(Reactive blue)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน(Reactive blue 19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

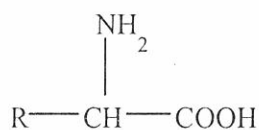
2. สิริแอกทีฟสีแดง(Reactive red)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสิริแอกทีฟสีแดง(Reactive red 141)

2.2 เศษด้ายไหม

เศษด้ายไหมเป็นโปรตีนซึ่งเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูงประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน(H) ไนโตรเจน(N) ออกซิเจน(O) และกำมะถัน(S) แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุฟอสฟอรัส(P) เหล็ก (Fe) สังกะสี(Zn) และทองแดง(Cu)เพิ่มเข้ามา หน่วยโครงสร้างของโปรตีน คือ กรดอะมิโนซึ่งสามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้ด้วยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันไป หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้คือกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีกาวแตกกิ่ง พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนมีชื่อว่าพันธะเพปไทด์ พันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ที่เกิดจากการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่ α อะมิโนของกรดอะมิโนตัวที่อยู่ถัดไป โมเลกุลของโปรตีนอาจจะประกอบไปด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียว หรือมากกว่าก็ได้ โดยโซ่พอลิเพปไทด์จะมีความยาวแตกต่างกันไป ซึ่งจะมีกรดอะมิโน ประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วย โปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวลโมเลกุล และการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่จำเพาะที่สำคัญอยู่ 20 ชนิด กรดอะมิโนมีสูตรโมเลกุลทั่วไปดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในโมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโนจะมีหมู่อะมิโนต่ออยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก (กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้นไกลซีน) ด้วยเหตุที่หมู่เอมีนเป็นเบสและหมู่คาร์บอกซิลิกเป็นกรดจึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้แก่เบส สูตรโมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียนในรูปการแตกตัวเป็นไอออนหรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ดังนี้



โปรตีนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ โดยอาศัยโครงรูป (Conformation) หรือรูปร่าง 3 มิติได้ดังนี้ คือ

1. โปรตีนกลอบูลาร์ ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มาขม้วนกันแน่นในลักษณะที่กลม โดยเอาหมู่ R ที่มีหัวของกรดอะมิโนอยู่ด้านนอกโมเลกุล ซึ่งจะถูกไฮเดรตด้วยน้ำ และเอาหมู่ R ที่ไม่ชอบน้ำไว้ข้างในโมเลกุล โครงสร้างของโปรตีนพวกนี้ประกอบด้วยเกลียวแอลฟาและเบตา ในปริมาณที่ต่างกัน ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ดี ตัวอย่างเช่น เอนไซม์เกือบทุกชนิด แอนติบอดีออร์โมนบางชนิดและโปรตีนขนส่ง

2. โปรตีนเส้นใย ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะที่เป็นเส้นใยหรือเป็นแผ่น มีความแข็ง เหนียวและอาจยืดหยุ่นได้ ไม่ละลายน้ำหรือในสารละลายเกลือที่เจือจาง โปรตีนพวกนี้เป็นโปรตีนที่สำคัญในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ชั้นสูง เช่น คอลลาเจนของเอ็นและของเมทริกซ์กระดูก เคราตินของเส้นผม ขน และไฟโบรอินของเส้นไหม

โครงสร้างของโปรตีนสามารถแบ่งได้ เป็น 4 ชนิด คือ

1. โครงสร้างปฐมภูมิ หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนที่ประกอบด้วยการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะเป็นสายยาวของโซ่พอลิเพปไทด์ด้วยพันธะเพปไทด์

2. โครงสร้างทุติยภูมิ โปรตีนทั้งหมดภายในธรรมชาติ ประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิ 3 แบบด้วยกัน คือ α -เฮลิกซ์, β -ชีท และ β -เบนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบ α -เฮลิกซ์

รูปที่ 2.4 โครงสร้าง β -ชีท ของพอลิเพปไทด์

3. โครงสร้างตติยภูมิ หมายถึง โครงสร้างที่มีสายพอลิเพปไทด์มาขดม้วนแน่นในลักษณะกลมของโปรตีนกลอบูลูลาร์ พันธะที่เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้โครงสร้างนี้เสถียรอยู่ได้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโคเวเลนต์และพันธะอ่อน เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก หรือพันธะนอนโพลาร์และแรงแวนเดอร์วาลส์

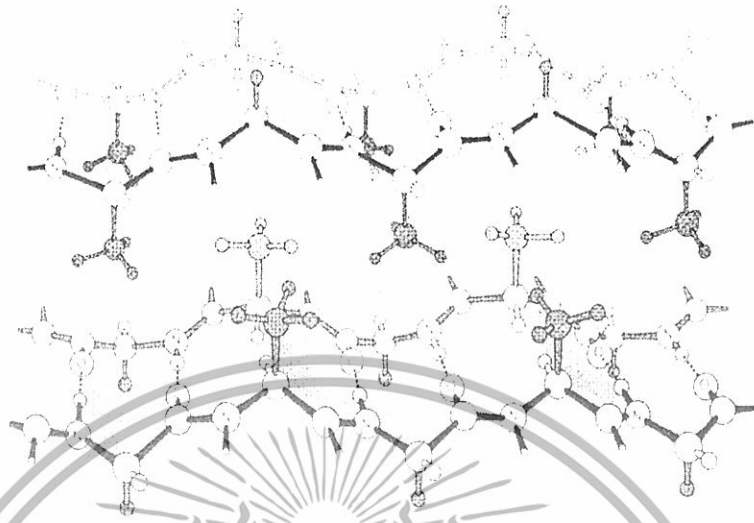
4. โครงสร้างจตุรภูมิ หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งสายอยู่ร่วมกันด้วยพันธะอ่อน แต่ละสายพอลิเพปไทด์หรือหน่วยย่อยหรือหน่วยโปรโตเมอร์ (Protomer) อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันได้ โปรตีนที่มีโครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า โอลิโกเมอร์โปรตีน ตัวอย่างเช่น ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วยโซ่อัลฟา 2 โซ่ และเบตา 2 โซ่

เสียด้ายใหม่เป็นโปรตีนพวกไฟโบรอินซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนดังนี้ คือ ไกลซีน 40% อะลานีน 29% และเซรีน 12% และมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกัน คือ $(Gly - Ser - Gly - Ala - Gly - Ala)_n$ โครงสร้างไฟโบรอินจะเป็นแผ่นพอลิเบต้าชนิดที่มีสายเพปไทด์วิ่งสวนทางกัน ทำให้ไฟโบรอินมีลักษณะเป็นแผ่นพอลิหลาย ๆ แผ่นมาซ้อนทับกัน ในแผ่นพอลิเบต้าสายเพปไทด์จะวิ่งขนานกัน มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มและกลุ่มของพันธะเพปไทด์ที่เคียงคู่กันแขนงข้าง (หมู่ R) จะยื่นออกสู่ด้านล่างและด้านบนของสายเพปไทด์แขนงข้างที่มีขนาดเล็ก เช่น ไกลซีน เซรีนและอะลานีน จะช่วยทำให้แผ่นพอลิที่อยู่ตัวได้ดี ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 เป็นโครงสร้างของเสียด้ายใหม่ (เรื่องลักษณะ, 2545)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแผ่นพอลิเบต้าแบบขนาน(ก) และแบบไม่ขนาน (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้าง 3 มิติของไหม

2.3 แกลบ

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของแกลบ

แกลบเป็นส่วนเปลือกของเมล็ดข้าวที่ได้หลังจากการสีข้าว จัดเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร แกลบส่วนใหญ่เป็นลีน้ำตาลอ่อนทรงกระบอกหัวท้ายปิดเป็นรูปทรงรีที่มีแกนตามยาวเป็นแนวสมมาตร มีความยาวอยู่ในช่วง 6–10 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-2.5 มิลลิเมตร ความหนาของผนังเซลล์ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร และมีความหนาแน่น (bulk density) โดยประมาณ 0.148 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากที่ผิวด้านนอกของแกลบมีซิลิกาผสมอยู่เป็นปริมาณสูงทำให้แกลบมีคุณสมบัติแตกหักง่าย ซิลิกาในแกลบเมื่อเทียบความแข็งตามโมห์สเกล (Mohs Scale) มีความแข็งเท่ากับ 5.5 ถึง 6.5

2.3.2 สัณฐานวิทยาของแกลบ

ผิวนอกของแกลบมีลักษณะเป็นเซลล์ที่เป็นรูปเหลี่ยมซึ่งมีปริมาณของซิลิกาสูง ถูกปิดทับด้วยคิวติเคิล (Cuticle) หนาและมีขนสั้น ๆ อยู่บนผิว ภายในประกอบด้วยเส้นใยและเซลล์ที่ประกอบด้วยเส้นใยต่าง ๆ ชั้นกลางมีปริมาณซิลิกาอยู่ต่ำกว่าชั้นนอก โดยทั่วไปอาจสรุปโครงสร้างของแกลบได้ดังนี้

-ผนังเซลล์ด้านนอกประกอบด้วยเซลล์ลักษณะเป็นปุ่มที่มีซิลิกาอยู่สูง

-สเคอร์เรนโคมา (Sclerenchyma) ประกอบด้วยเส้นใยต่างๆ อันประกอบด้วย ลิกนิน และซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-พารენไคมา (Parenchyma) เป็นเซลล์ลักษณะคล้ายฟองน้ำมีรูพรุนและมีรูปร่างแตกต่างกันไป

-ผนังชั้นในประกอบด้วยเส้นใยที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน

2.3.3 องค์ประกอบของเกลบ

องค์ประกอบของเกลบจะแตกต่างกันไปตามแหล่งเพาะปลูก ส่วนมากจะประกอบด้วย สารอินทรีย์ ซิลิกา และสิ่งปนเปื้อน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในเกลบพบว่าประกอบไปด้วย คาร์บอน 51.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สารอินทรีย์นี้ประกอบด้วยพวก เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาล และพอลิเมอร์ของน้ำตาล ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในเกลบ

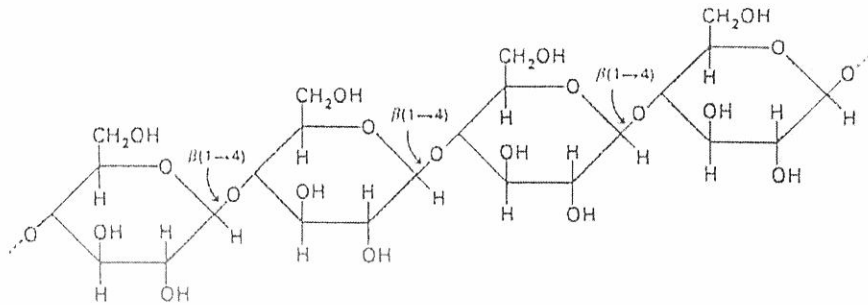
องค์ประกอบ	น้ำหนัก %
เส้นใย	13-29
เซลลูโลส	34-44
ลิกนิน	19-47
น้ำตาล*	17-26

*D-xylose, L-arabinose, Methylglyconic acid, D-galactose

1. เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นเส้นใยของพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่เป็นส่วนประกอบหลักในผนังเซลล์พืช และเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมากที่สุด เซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์สายตรงที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรเซลลูโลสเชื่อมต่อกันด้วย 1-4 กลูโคซิดิก โครงสร้างของเซลลูโลสส่วนใหญ่จะเป็นรูปผลึกที่มีระเบียบประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ซึ่งโครงสร้างของเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเซลลูโลส

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเซลลูโลสและลิกนิน

Component	Chemical Formula	Molar mass
Monosaccharides		
Xylose*	$C_5H_{10}O_5$	150
D-glucose ⁺	$C_6H_{12}O_6$	180
Mannose*	$C_6H_{12}O_6$	180
Disaccharides		
Sucrose (cane/beer sugar)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342
Maltose (malt Sugar)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342
	Monomer building block	Molar mass
Polysaccharides		
Cellulose (- $C_6H_{10}O_5$ -)	D-glucose	>100000
Starch (- $C_6H_{10}O_5$ -)	D-glucose	35000-39000
Hemicellulose	Various sugar	10000-35000
Lignin	Hydroxyphenyl propane [#] ($C_3H_7C_6H_4OH$)	5000-10000

* Xylose and Mannose are the principle sugar constituent of Hemicellulos

+ Also called Dextrose

A compound related to phenol , C_6H_5OH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดขึ้นร่วมกับพวกเซลลูโลส แต่จะอยู่ในรูปอสัณฐานที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมทางเคมีต่างกับพวกเซลลูโลส และมีมวลต่ำกว่ามาก ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เซลลูโลสมักประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวต่างๆ หลายชนิดหลายๆ ตัวมาต่อกันเป็นกลุ่ม ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะได้เห็นได้ว่าโครงสร้างส่วนใหญ่จะคล้ายกับพวกเซลลูโลส ยกเว้นพวกพอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสมักประกอบด้วยหน่วยย่อย 50-200 หน่วย และต่อกันแบบกิ่งก้านสาขามากกว่าแบบเส้นตรง

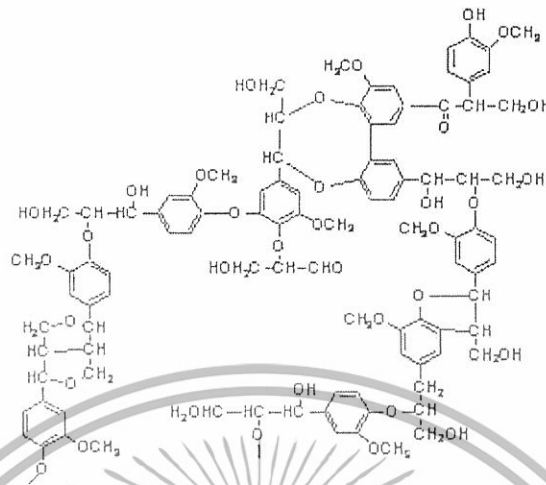


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของน้ำตาลต่างๆ ที่ประกอบเป็นเฮมิเซลลูโลส

3. ลิกนิน

ลิกนินเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของพืช ประกอบด้วยโครงสร้างอะโรมาติกของหน่วยฟีนิล โพรเพนที่เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอนสายตรง (aliphatic chain) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 ซึ่งจะได้เห็นได้ว่าลิกนินมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเป็นผนังเซลล์ของพืชที่จะช่วยทำตัวเสมือนการยึดและเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์พืช นอกจากนี้ลิกนินยังอยู่ในรูปอสัณฐานเช่นเดียวกับพวกเฮมิเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของลิกนิน

4. สารอนินทรีย์

องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่หมายถึง เถ้า แคลบมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันไปตามแหล่งเพาะปลูก โดยมีสัดส่วนของซิลิกาอยู่ในช่วงระหว่าง 87-97 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาณเถ้าและปริมาณซิลิกาในแคลบกับสัดส่วนอื่นๆ ของต้นข้าวและพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอื่นๆ พบว่า แคลบมีปริมาณเถ้าและซิลิกามากกว่าพืชชนิดอื่นๆ ดังนั้นด้วยสาเหตุนี้เองจึงอาจเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านแคลบมีลักษณะกึ่งตัว

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเถ้าและปริมาณซิลิกาในส่วนต่างๆ ของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

พืช	ส่วนต่างๆ	ปริมาณเถ้า (ก./กก.*)	ซิลิกาในเถ้า (%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณซิลิกา (ก./กก.**)
ข้าว	เปลือก	200	96	192
	ฟางข้าว	150	82	123
ข้าวสาลี	เปลือก	100	69	69
	ใบ	110	91	100
ข้าวโพด	ใบ	120	54	77
ข้าวบาร์เลย์	ฟางข้าว	6	54	3
ข้าวโอ๊ต	ฟางข้าว	70	47	33
ไม้ไผ่	ตาไม้ไผ่	20	57	11

* refer to dry biomass

** inner part

2.4 การดูดซับ

การดูดซับ คือ กระบวนการที่อะตอมหรือ โมเลกุลของสารหนึ่งยึดติดอยู่กับผิวของอีกสารหนึ่ง สารที่ยึดติดเกาะอยู่ที่ผิวหน้าเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ(Adsorbate) ส่วนสารที่ตัวถูกดูดซับไปเกาะเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ปริมาณการดูดซับจะขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีใช้ในกระบวนการแยกสาร หรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น

2.4.1 ประเภทของการดูดซับ(Adsorption)

การดูดซับแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และ การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

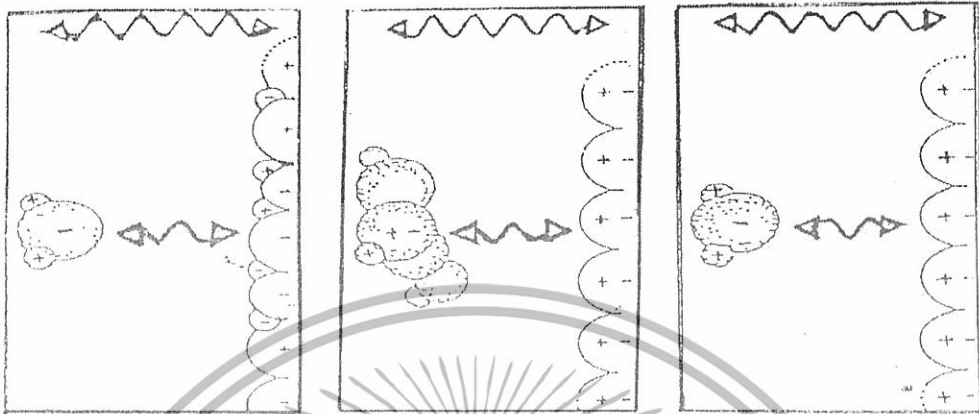
2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ(Physical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้แรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับผิวหน้าของโมเลกุลตัวดูดซับจะเป็นแรงค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล เป็นต้น โดยที่โมเลกุลที่ถูกดูดซับจะมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนเดิม

ลักษณะการเกาะจับด้วยแรงทางกายภาพเกิดจากผล 3 อย่าง ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลมีขั้ว - โมเลกุลมีขั้ว โมเลกุลไม่มีขั้ว - โมเลกุลไม่มีขั้ว โมเลกุลมีขั้ว - โมเลกุลไม่มีขั้ว



รูปที่ 2.10 การดูดซับด้วยแรงกายภาพในลักษณะต่างๆ

1. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่
2. เกิดจากหลักการที่ว่า โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเบียดกันไค โพลโมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มายู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นเป็นแรงอ่อนๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็นโมเลกุลที่มีขั้วของตัวดูดซับเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว
3. เกิดจากโมเลกุลที่มีขั้วเข้าไคไลโมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็นโมเลกุลที่มีขั้วและ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับแบบนี้จะเกี่ยวข้องกับแรงหรือพันธะทางเคมีของตัวถูกดูดซับ ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยา การเกาะของตัวดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับ จะเหมือนแรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวกันระหว่างอะตอมภายใน โมเลกุล การดูดซับทางเคมี บางครั้งต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี คือ

1. การดูดซับทางกายภาพไม่มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน สามารถผันกลับได้ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิเดียวกัน แต่การดูดซับทางเคมีจะผันกลับไม่ได้

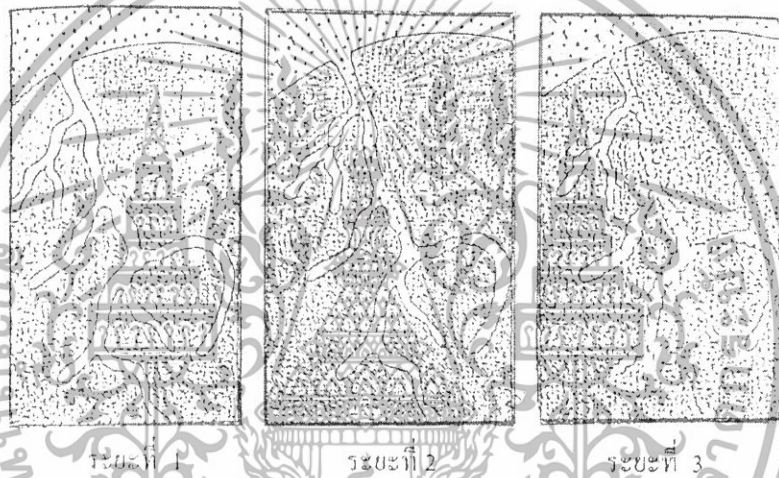
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวดูดซับไม่มีบริเวณจำเพาะ ในหลายกระบวนการดูดซับภายใต้สภาวะความดัน และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณที่มีความจำเพาะเท่านั้น และโดยทั่วไปการดูดซับทางเคมีจะเกิดแบบชั้นเดียวเท่านั้น

3. ความร้อนที่ได้จากการดูดซับทางกายภาพจะน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี

2.4.2 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงกลไกการดูดซับในระยะต่าง

ระยะที่ 1 โมเลกุลของตัวดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวดูดซับจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 เกิดการดูดติดผิวในรูพรุนระหว่างตัวดูดซับและพื้นผิวดูดซับซึ่งอาจเกิดการดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมี หรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน

2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.4.3.1 สมบัติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลของตัวดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากมีรูพรุนมากแต่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็ก หรือรูปทรงมีขนาดใหญ่แต่ปากรูปทรงมีขนาดเล็ก ก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่ม

2.4.3.2 สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ

ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่เกิดกระบวนการการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้น่าหนัก และขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นแบบกิ่ง (Branched chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง (Straight chain)

2.4.3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนพื้นผิวโดยดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น

2.4.3.4 อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้นแต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

2.4.3.5 เวลาสัมผัส

เวลาดำเนินการเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้การสัมผัสต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และสารดูดซับซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาระดับปฏิบัติก่อนนำไปใช้จริง

2.4.4 การบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (continuous flow system)

เป็นการบำบัดโดยให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นของตัวดูดซับที่บรรจุไว้ในคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ระหว่างเดินระบบโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fixed – Bed System

ระหว่างป้อนน้ำเสียเข้าระบบ ชั้นของตัวดูดซับไม่เคลื่อนที่ ซึ่งสามารถเดินระบบได้หลายแบบ คือ

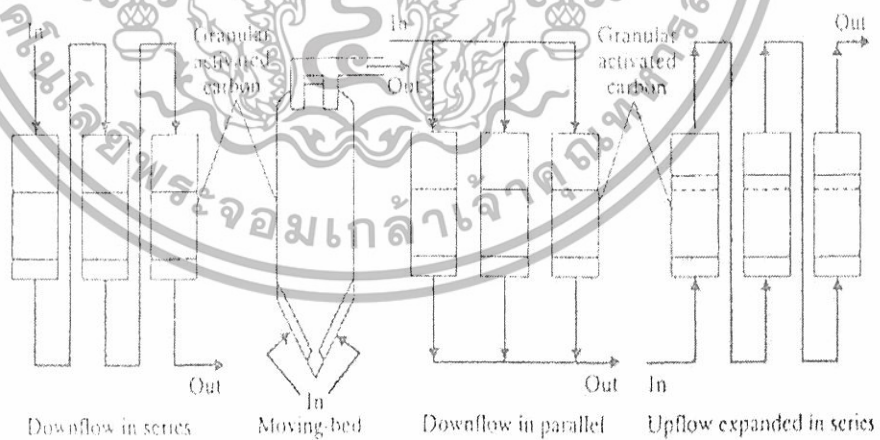
- Fixed – Bed single column
- Fixed – Bed downflow in series
- Fixed – Bed downflow in parallel

Moving Bed System

ระบบแบบนี้ น้ำเสียจะป้อนเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ด้วยแรงดันที่สูงพอ ทำให้เม็ดของตัวดูดซับเคลื่อนที่ขยายตัวขึ้นตามแรงดันของน้ำ เรียก expanded bed system ถ้าน้ำมีแรงดันสูงจะทำให้เม็ดของตัวดูดซับมีลักษณะเคลื่อนที่ตลอดเวลา เรียก Moving bed system

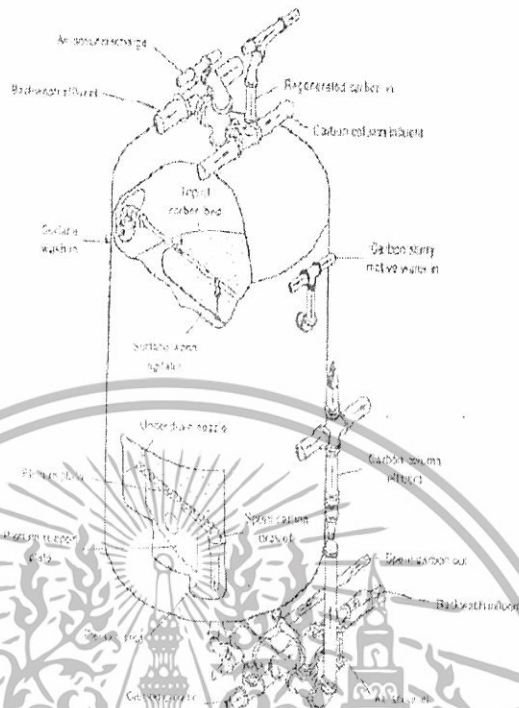
- Expanded bed single column
- Upflow expanded bed in series
- Moving bed system

ตัวอย่างระบบ GAC column แสดงดังรูปที่ 2.12 และ 2.13



รูปที่ 2.12 ระบบ Continuous Flow Carbon System แบบต่างๆ

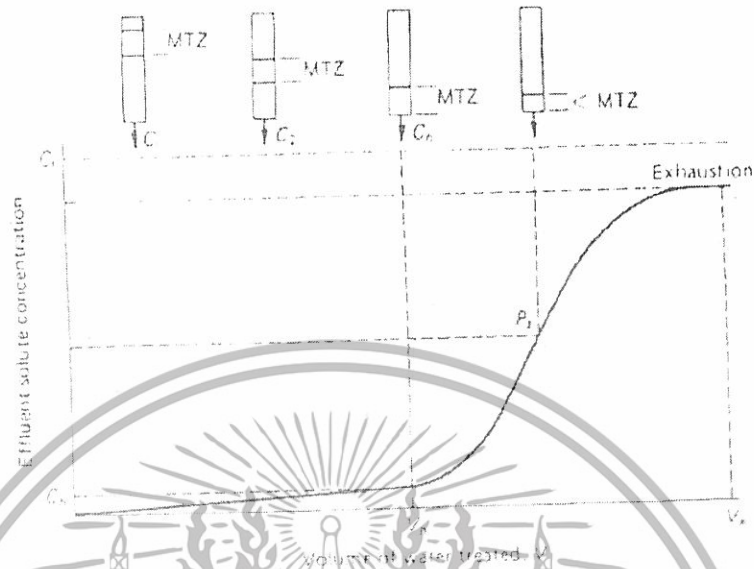
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Continuous Flow Carbon Fixed Bed System

การดูดซับสารของตัวดูดซับในระบบบำบัดแบบต่อเนื่องแตกต่างจากในการบำบัดแบบครั้ง เนื่องจากไม่มีสถานะคงที่ (steady state) เกิดขึ้น เมื่อผ่านน้ำเสียเข้าไปในคอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับ บริเวณบนสุดของ GAC bed เริ่มทำการดูดซับสารที่เจือปนในน้ำเสีย เมื่อน้ำเสียเคลื่อนที่ผ่านชั้นของตัวดูดซับลงไป ความเข้มข้นของสารเจือปนจะลดลงเรื่อยๆจนเข้าสู่สมดุล ความเข้มข้นของสารเจือปนจะไม่ลดลงอีก และเคลื่อนที่ผ่านชั้นของตัวดูดซับออกมาบริเวณชั้นบนสุดของตัวดูดซับซึ่งดูดซับสารเจือปนมากขึ้นเรื่อยๆ จะอึดตัวไม่สามารถดูดซับสารเพิ่มขึ้นได้อีก MTZ จะเลื่อนลงมาเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



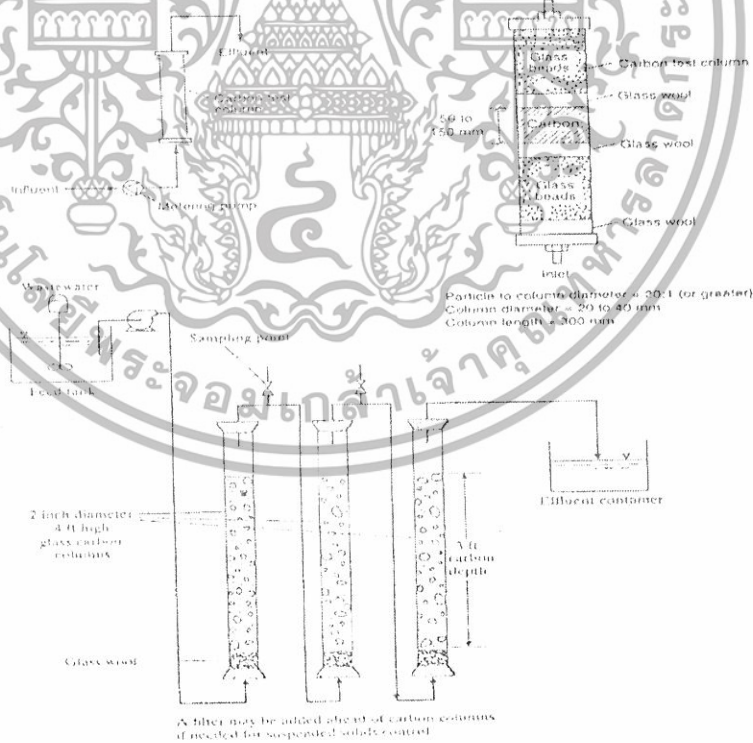
รูปที่ 2.14 แสดง MTZ ที่เกิดขึ้นระหว่าง breakthrough curve

จากรูปที่ 2.14 เมื่อผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้น C_1 ตัวถูกละลายจะถูกดูดซับที่บริเวณชั้นบนของคอลัมน์นี้ เมื่อน้ำเสียผ่านคอลัมน์เกิดเป็นปริมาตร V_1 หรือเป็นเวลา t_1 จะมีชั้นของตัวดูดซับที่อิ่มตัวเกิดขึ้น MTZ จะเลื่อนลงมาบริเวณชั้นของตัวดูดซับ ได้ MTZ จะไม่เกิดการดูดซับตัวถูกละลายที่ออกจากคอลัมน์นี้ถ้าความเข้มข้นน้อยกว่าเท่ากับ C_1 เมื่อผ่านน้ำเสียไปจนมีปริมาตร V_2 หรือที่เวลา t_2 MTZ จะเคลื่อนลงมา ชั้นของตัวดูดซับที่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นและชั้นของตัวดูดซับที่ไม่เกิดการดูดซับมีค่าลดลง ความเข้มข้นของสาร C_2 มีค่าใกล้เคียง C_1 และเมื่อให้น้ำเสียผ่านคอลัมน์จนมีปริมาตร V_0 หรือที่เวลา t_0 ณจุดนี้ MTZ เคลื่อนลงมาถึงขอบล่างสุดของชั้นของตัวดูดซับ ไม่มีชั้นของตัวดูดซับที่ไม่เกิดการดูดซับ น้ำเสียที่ผ่านออกมามีความเข้มข้น C_0 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง C_1 และ C_2 ณ จุดนี้ตัวดูดซับที่ยังสามารถดูดซับได้อยู่หรือไม่อิ่มตัวนั้น เป็นคาร์บอนที่อยู่ในบริเวณ MTZ เท่านั้น เมื่อผ่านน้ำเสียต่อไปชั้นของตัวดูดซับอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้น MTZ ลดลงความเข้มข้นของน้ำเสียที่ออกมาจะเพิ่มขึ้น ๆ จนกระทั่ง ณ จุดนี้ถือว่า ตัวดูดซับหมดอายุการใช้งาน (exhaustion) ต้องนำมาฟื้นฟูสภาพ (regenerate) และ MTZ จะเริ่มเกิดขึ้นที่ขอบบนสุดของคอลัมน์ที่ 2 ถ้ามีการต่อคอลัมน์แบบอนุกรม (series) ตัวดูดซับในคอลัมน์ที่ 1 ควรนำมาฟื้นฟูสภาพและให้น้ำเสียไหลเข้าคอลัมน์ 2 เป็นคอลัมน์แรกแทน สำหรับคอลัมน์ 1 เดิมที่ฟื้นฟูสภาพแล้วนำมาต่อกับคอลัมน์สุดท้ายเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ปริมาตร V_0 เป็นปริมาตรที่น้ำเสียทั้งหมดไหลผ่านคอลัมน์และทำให้คอลัมน์ส่วนที่ไม่เกิดการดูดซับ หรือหมดอายุ มีมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมด เรียกว่า breakthrough volume หลังจาก V_b ไปแล้วสารเจือปนในน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์จะเพิ่มสูงขึ้น กราฟที่ได้เรียก breakthrough curve

ความกว้างของบริเวณที่มีการดูดซับในคอลัมน์หรือ MTZ จะมีผลต่อความคมชัดของ breakthrough curve ถ้า MTZ แคบจะให้ sharp breakthrough curve ความกว้างของ MTZ ขึ้นกับชนิดของสารว่าถูกดูดซับได้ดีเพียงใด และอัตราการไหลของน้ำเสียมี่ค่าสูงทำให้ contact time สั้นมาก น้ำจะผ่านไปอย่างรวดเร็ว MTZ จะกว้างและไม่ให้ผลดีในการลดสารเจือปนในน้ำควรใช้หลายคอลัมน์ต่อกันแบบขนานจะช่วยแบ่งรับภาระ hydraulic loading rate การต่อคอลัมน์แบบอนุกรมจะช่วยให้การบำบัดได้ผลดีเมื่อคอลัมน์ที่ 1 หมดอายุการใช้งาน ซึ่งทราบได้จากกราฟที่ขึ้นช้าลง น้ำเสียที่มีคราหะ คอลัมน์ที่ 2 ก็สามารถบำบัดต่อไปได้ และได้น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่ำในขณะเดียวกันก็สามารถนำตัวดูดซับในคอลัมน์ที่ 1 มาฟื้นฟูสภาพโดยไม่ต้องหยุดเดินระบบ การก่อสร้างระบบควรมีข้อมูลจากห้องปฏิบัติการหรือ pilot test จะทำให้ทราบอัตราการไหลของน้ำเสียที่เหมาะสม ความลึกของ Carbon bed เส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวนคอลัมน์ที่ใช้ ตัวอย่างชุดทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ชุดทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ความจุในการดูดซับของตัวดูดซับ (Continuous Flow System)

ความจุในการดูดซับสารในคอลัมน์ที่น้ำเสียไหลผ่านทำได้โดยการทดลองผ่านน้ำเสียเข้าไปในคอลัมน์ เก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากคอลัมน์ มาวิเคราะห์เป็นระยะ ๆ และสร้าง breakthrough curve และการทำงานของระบบดูดซับด้วยสารดูดซับในแบบต่อเนื่องจะเป็นไปตามสมการของ Adam และ Bohart ดังนี้

$$t = (N_0/C_0U_0) \left[Z - \left(\frac{U_0}{KN} \ln\left(\frac{C_0-1}{C_t}\right) \right) \right]$$

เมื่อ t = Break point time

N_0 = ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับ

C_t = ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของตัวถูกดูดซับเมื่อออกจากระบบ

U_0 = อัตราการไหลของสารละลาย

Z = ความสูงของชั้นตัวดูดซับ

K = อัตราการดูดซับเป็นค่าคงที่

จากสมการข้างต้น เมื่อทำการพลอตกราฟระหว่าง t กับ Z จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ N_0/C_0U_0 และจะได้ค่า K จาก Y-Intercept เท่ากับ $1/KC_0 \ln(C_0/C_t-1)$ (ยู่พา, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดวงพร แก่นแก้ว และ วรนุช สมตั้งกุล(2546) ศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ และสีย้อมดิสเพอร์ส ซึ่งเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้โพลีฟอสฟอไรต์ที่ปรับสภาพผิว ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ทดลองแบบครั้ง ศึกษาเวลาที่ใช้ในการเขย่า 1 และ 3 ชั่วโมง ความเร็วในการเขย่า 150 260 และ 400 รอบต่อนาที และอัตราส่วนโพลีฟอสเฟตต่อน้ำเสียสีย้อม (กรัม:มิลลิลิตร) ที่ 0.25:25 0.25:50 และ 0.25:100 นำมากรองและเอาส่วนของเหลวไปวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาความเข้มข้นสีย้อมที่เหลืออยู่โดยสีย้อมรีแอกทีฟวัดที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร และสีย้อมดิสเพอร์สวัดที่ความยาวคลื่น 789 นาโนเมตร และนำส่วนที่เป็นของแข็งนำไปวัดโดยเครื่อง Fourier Transform Infrared spectrophotometer (FTIR) Thermogravimetric Analyzer (TGA) และ Scanning Electron Microscope (SEM) ผลการทดลองสำหรับโพลีฟอสเฟตที่ผ่านปฏิกิริยารีดักทีฟแอมมิเนชัน จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมที่ดีที่สุดสำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้บำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ คือ เวลาที่ 1 ชั่วโมง ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และอัตราส่วนระหว่างโพลีฟอสเฟตต่อน้ำเสียสีย้อม (กรัม:มิลลิลิตร) ที่ 0.25:50 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของสีย้อมดิสเพอร์สก็เช่นเช่นเดียวกับสีย้อมรีแอกทีฟ โดยประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟสามารถบำบัดได้ดีกว่าสีย้อมดิสเพอร์ส

จรรยา กงฤทธิ์ (2546) ศึกษาการกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อม ซึ่งศึกษาสีย้อม 2 กลุ่ม คือ สีย้อมรีแอกทีฟ (สีชมพู, สีนํ้าเงิน) และ สีย้อมไคเรทท์ (สีนํ้าเงิน, สีแดง) ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ขี้เถ้าแกลบดำเป็นสารดูดซับ โดยทดลองแบบแบทช์ จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจะลดลงเมื่อที่เอชของน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟสีชมพู สีย้อมรีแอกทีฟสีนํ้าเงิน สีย้อมไคเรทท์สีนํ้าเงิน สีย้อมไคเรทท์สีแดงอยู่ในช่วงร้อยละ 59.78-70.33 88.18-92.64 97.49-99.07 95.29-99.30 99.78-99.80 และ 99.38-99.6 ตามลำดับ และจากผลการศึกษาความสามารถของขี้เถ้าแกลบดำกับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมประมาณร้อยละ 70

วรรณิภา ผลาหาญ (2546) ศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ 5 ชนิด ได้แก่ Reactive Blue 5 Reactive Blue Reactive Black Reactive Red และ Reactive Yellow โดยใช้เศษผงเหล็ก ทำการทดลองทั้งแบบแบทช์และแบบคอลัมน์ จากการศึกษาพบว่า การทดลองแบบครั้ง ใช้น้ำเสียเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ทดลองจนได้สภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการกำจัด Reactive Blue 5 Reactive Blue Reactive Black Reactive Red และ Reactive Yellow คือ 99.61% 98.61% 97.04% 99.00% 98.82% และ 94.89% ตามลำดับ และจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปตามสมการของแลงเมียร์ ส่วนแบบคอลัมน์ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีของ Reactive Blue 5 สภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที

นิคม โทห้ำและคณะ (2547) ศึกษาการบำบัดสีของรีแอคทีฟบลูด้วยโพลีเอทิลีนไดออลและวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ไหม แกลบดำ ขุยมะพร้าวและถ่านกะลามะพร้าว ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทดลองแบบไหลต่อเนื่องผ่านคอลัมน์แก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที กรองและเอาส่วนของเหลวไปวัดด้วยยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีของไหมและแกลบดำมีประสิทธิภาพมากกว่าโพลีเอทิลีนไดออล ขุยมะพร้าว และถ่านกะลามะพร้าว จึงเลือกใช้ไหมกับแกลบดำมาทำการทดลองอีกครั้งโดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราการไหล 1 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ที่พีเอช 9 และ 11 และความเข้มข้นของสารละลายสี 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของไหมและแกลบดำดีที่สุด ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที พีเอชเท่ากับ 9 และความเข้มข้นสารละลายสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และไหมมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีกว่าแกลบ

นราธิภรณ์ นาเมืองรักษ์ (2548) ศึกษาการกำจัดสีของรีแอคทีฟบลู 5 ได้แก่ Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 และสีอื่นในน้ำทิ้งโดยใช้เศษผงเหล็ก ทำการทดลองทั้งแบบแบตช์และแบบคอลัมน์ที่สภาวะเหมาะสม พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของแบบแบตช์ของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่า 99.03, 99.10, 99.76 และ 99.53 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมมีค่าร้อยละ 97 ส่วนแบบคอลัมน์พบว่าสามารถกำจัดสีทั้งหมด 4 ชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์มากกว่าร้อยละ 90 และกำจัดน้ำทิ้งได้ดี

Malik, P.K (2003) ศึกษาการประยุกต์ใช้แอคทีเวดเตดคาร์บอนจากซีลีเนียมและแกลบเพื่อดูดซับสารละลายสีแอซิด โดยใช้สี Acid Yellow 36 ทำการทดลองแบบครั้งเพื่อการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับทั้งแบบของแลงเมียร์และฟรุนริช หาอันดับปฏิกิริยาตามแบบจำลองของลาเกอร์นและหาพีเอชที่เหมาะสมของการดูดซับ พบว่าการดูดซับสีแอซิดโดยใช้ซีลีเนียมและแกลบเป็นการดูดซับทางเคมีซึ่งมีพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 3 สมดุลการดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอมทั้งแบบแลงเมียร์และฟรุนริช และกลไกการเกิดปฏิกิริยามีอันดับปฏิกิริยาเป็นลำดับหนึ่งตามแบบจำลองของลาเกอร์น โดยที่คาร์บอนของซีลีเนียมมีความจุในการดูดซับสีมากกว่าแกลบและมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีแอซิดดีกว่าแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.Senthilkumaarcและคณะ(2005) ศึกษาการกำจัดสีรีแอกทีฟโดยใช้แอคทีเวตเตดคาร์บอนจากคอกมะพร้าว(CFC) และเส้นใยปอ(JFC) ทำการทดลองแบบครั้งที่อยู่อุณหภูมิ 28 เซลเซียส พีเอชเริ่มต้นเป็น 6 แปรค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อม 10 20 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่าใช้เวลาสัมผัสเป็น 3 ชม. ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 2 ชนิดเป็น 0.3และ0.1 กรัม ตามลำดับ และนำสภาวะที่เหมาะสมมาทำการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ ความจุของการดูดซับ คำนวณหาอันดับของการเกิดปฏิกิริยา พบว่าการดูดซับสีรีแอกทีฟเรดของCFCและJFC เป็นการดูดซับทางเคมีที่มีอันดับการเกิดปฏิกิริยาเป็นอันดับ 2 และสมการการดูดซับเป็นไปตามแลงเมียร์ไอโซเทอม และพื้นผิวของคาร์บอนทั้ง 2 ชนิดจะดูดซับสีรีแอกทีฟเรดแบบชั้นเดียว(monolayer)โดยCFC และJFC มีความจุในการดูดซับสี 200 และ 181.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับและJFC มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟเรดได้ดีกว่า CFC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินจาก บริษัท ไคสตาร์ไทย จำกัด
2. สีย้อมรีแอกทีฟแดง จากบริษัท ไคสตาร์ไทย จำกัด
3. โหมจากบริษัท ซินาโนเคนซิ.ประเทศไทยจำกัด
4. แกลบคั่ว จากร้านเพาะข้าวคันไผ่
5. กรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดคอมพิ์ บริษัท CARLO ERBA
7. โพแทสเซียมคลอโรฟอสเฟตดีไฮเดรต (K₂PO₄) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
8. โคบอลต์(II)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งวิเคราะห์แบบกิโลโกรัม โทมิเตอร์ JASCO 7800 พร้อมเซลล์
2. เครื่องเขย่าสาร (shaker)
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น WB/OB 7-45 WBU 45
4. เครื่องวัดพีเอชมิเตอร์ (pH meter) บริษัท Denver Instrument รุ่น Model 215
5. เครื่องชั่งกรอเบ็ด 4 ตำแหน่ง
6. คอลัมน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร
7. สายยาง
8. สำลี
9. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
10. ชุดเครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

3.3 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากการเตรียมสารละลายซีโอมรีแอกทีฟ สีน้าเงินและแดง โดยชั่งซีโอมมา 10 มิลลิกรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนได้ 1000 มิลลิลิตร แล้วกวนผสมให้เข้ากัน จะได้น้ำเสียเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้สำหรับทดลองแบบแบทช์ สำหรับการทดลองแบบคอลัมน์จะใช้ น้ำเสียเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

3.4 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสต็อกสารละลายมาตรฐานจากโพแทสเซียมคลอโรฟอสเฟตดินเนต ($K_2P_2O_7$) จำนวน 1.246 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร และโคบอลต์(II)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 1.00 กรัม และเจือจางจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร ซึ่งจะมีหน่วยซีเท่ากับ 1000 ADMI

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีซี 250, 300, 400, 500 และ 1000 ADMI โดยการเจือจางสารละลายสต็อกจากสารเคมีข้อ 1 โดยไปตวงมา 12.5, 15, 20, 25 และ 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร สำหรับ สารละลายมาตรฐานที่มีซีเท่ากับ 1000 ADMI ไม่ต้องทำการปรับปริมาตรใดๆทั้งสิ้น

3. นำละลายสัมมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กรองด้วยกระดาษกรอง GF/C

4. นำมาวัดค่าทรานส์มิตแดนซ์ (%T) ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในแต่ละความยาวคลื่น ดังตารางในภาคผนวก ก.

5. การวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดจะเหมือนกันกับ สัมมาตรฐานทุกประการ

3.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดซีโอมรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยไหม

3.5.1 ศึกษาผลของเวลาสัมผัส

1. ชั่งไหม 0.25 กรัม จำนวน 3 ครั้ง ใส่ขวดรูปชมพู่

2. แช่ไหมในน้ำกลั่นให้ไหมเปียก จากนั้นเปิดสารละลายซีโอมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

3. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 3 และ 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเขย่า

4. กรองแยกไหมด้วยชุดกรองบูชเนอร์และกระดาษกรองเบอร์ 42

5. นำส่วนใสไปกรองกระดาษกรองเบอร์ 42 อีกครั้ง

6. นำไปวัดค่าทรานส์มิตแดนซ์ (%T) ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และ

รายงานผลความเข้มข้นในหน่วย ADMI

7. ทำชุดควบคุมเช่นเดียวกันโดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายซีโอมและทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ศึกษาผลของความเร็วในการปั่นกวน

1. ชั่งไหม 0.25 กรัม จำนวน 3 ครั้ง ใส่ขวดรูปชมพู่
2. แช่ไหมในน้ำกลั่นให้ไหมเปียก จากนั้นบีบเอาสารละลายสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
3. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 250 และ 300 รอบ/นาที เขย่าด้วยเวลาตามที่ได้ศึกษาจากหัวข้อ 3.5.1

4. กรองแยกไหมด้วยชุดกรองบูชเนอร์และกระดาษกรองเบอร์ 42
5. นำส่วนใสไปกรองกระดาษกรองเบอร์ 42 อีกครั้ง
6. นำไปวัดค่าทรานส์มิตแตนซ์ (%T) ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และรายงานผลความเข้มข้นในหน่วย ADMI
7. ทำชุดควบคุมโดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายสีข้อมรีแอกทีฟ 2 ครั้ง

3.5.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาตรตัวดูดซับต่อปริมาตรสีข้อม

1. ชั่งไหม 0.25 กรัม จำนวน 3 ครั้ง ใส่ขวดรูปชมพู่
2. แช่ไหมในน้ำกลั่นให้ไหมเปียก จากนั้นบีบเอาสารละลายสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ปริมาตร 50 100 และ 150 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
3. นำไปเขย่าด้วยเวลาและความเร็วตามที่ได้ศึกษาจากหัวข้อ 3.5.2
4. กรองแยกไหมด้วยชุดกรองบูชเนอร์และกระดาษกรองเบอร์ 42
5. นำส่วนใสไปกรองกระดาษกรองเบอร์ 42 อีกครั้ง
6. นำไปวัดค่าทรานส์มิตแตนซ์ (%T) ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และรายงานผลความเข้มข้นในหน่วย ADMI
7. ทำชุดควบคุมโดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายสีข้อมรีแอกทีฟ 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด

3.6.1 การทดลองแบบเมทซ์

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมสีน้ำเงินและสีแดงด้วยไหมและเกลบคำด้วยสถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.5 และทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น

3.6.2 การทดลองแบบคอลัมน์

1. ชั่งไหม 24 กรัมบรรจุไว้ในคอลัมน์
2. เทสารละลายสีย้อมสีน้ำเงินเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัลหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล ลงในคอลัมน์โดยผ่านกรวยแยก และให้มีปริมาณสารละลายอยู่เหนือตัวดูดซับเล็กน้อย
3. เปิดจุกให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตร/นาที
4. เก็บสารละลายที่ไหลจากคอลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร โดย 25 มิลลิลิตรแรกไม่นำมาวิเคราะห์จากนั้นนำไปวัดความเข้มข้นด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และรายงานผลความเข้มข้นในหน่วย ADMI
5. ทำชุดควบคุมโดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายสีย้อมและทดลองซ้ำ 2 ครั้ง
6. สำหรับการบำบัดสีย้อมสีแดงที่สีแดงด้วยไหมและเกลบคำทำการทดลองเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

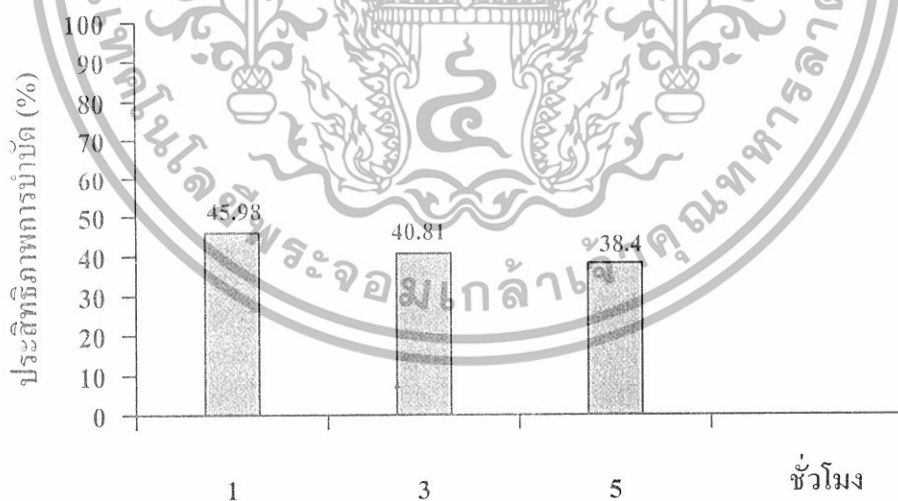
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดแบบแบทช์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสี้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยไหม โดยการศึกษาผลของเวลาสัมผัส ความเร็วในการปั่นกววน และอัตราส่วนของตัวดูดซับกับปริมาตรสี้อมพิจารณาจากประสิทธิภาพในการบำบัดสี้อมซึ่งใช้การวัดสีในหน่วย ADMI โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการศึกษาเวลาสัมผัส

ในการศึกษาการบำบัดสี้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยไหม โดยใช้สารละลายสี้อมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 9 (เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีสถานะเป็นเบส) ปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่เวลาต่างๆคือ 1 3 และ 5 ชม. แสดงผลในภาคผนวก ข.1.4 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับเวลา ดังรูปที่ 4.1



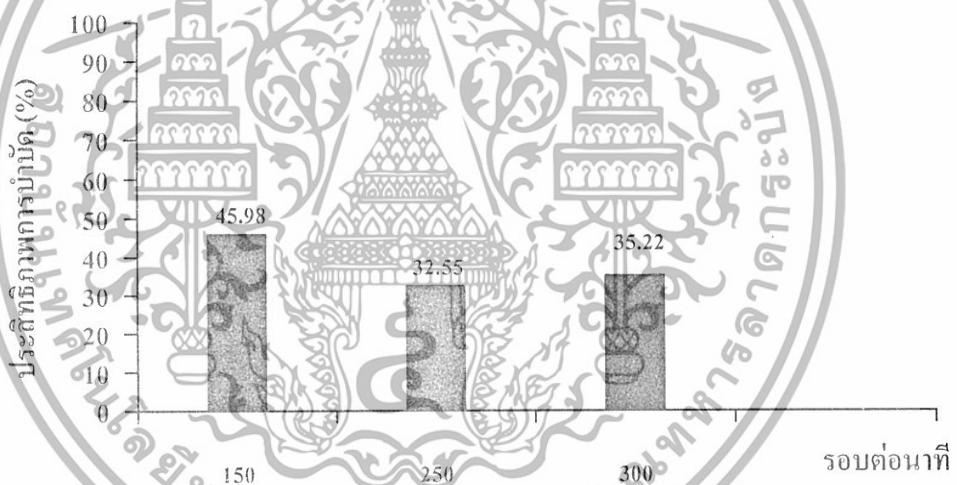
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดกับเวลาเมื่อใช้ไหมในการดูดซับสี้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน

จากรูปที่ 4.1 พบว่า เวลาที่เหมาะสมในการบำบัดสี้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินคือ 1 ชม. แต่เมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสให้มากขึ้นพบว่าไหมมีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง เนื่องจากสารละลายสี้อมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสถานะเป็นเบส ทำให้โมเลกุลสี่อ้อมที่บริเวณหมู่ $-SO_3H$ เกิดประจุลบของ $-SO_3^-$ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลสี่จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของไหม ที่ตำแหน่งร่องไวของสี่อ้อมส่งผลให้เกิดไอออนลบบนพื้นผิวของไหม ซึ่งจะไปต้านทานการเคลื่อนที่ของสิรีแอกทีฟซึ่งมีประจุลบเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการต้านทานการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสี่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง (ปิยนุช , 2544)

4.1.2 ผลการศึกษาความเร็วในการปั่นกววน

ในการศึกษาการบำบัดสี่อ้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยไหม โดยใช้สารละลายสี่อ้อมมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ปั่นกววนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการศึกษาผลของความเร็ว ที่ความเร็วต่างๆ คือ 150, 250, และ 300 รอบต่อนาที แสดงผลในภาคผนวก ข.1.2 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเร็วยรอบ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดกับความเร็วยรอบเมื่อใช้ไหมในการดูดซับสี่อ้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน

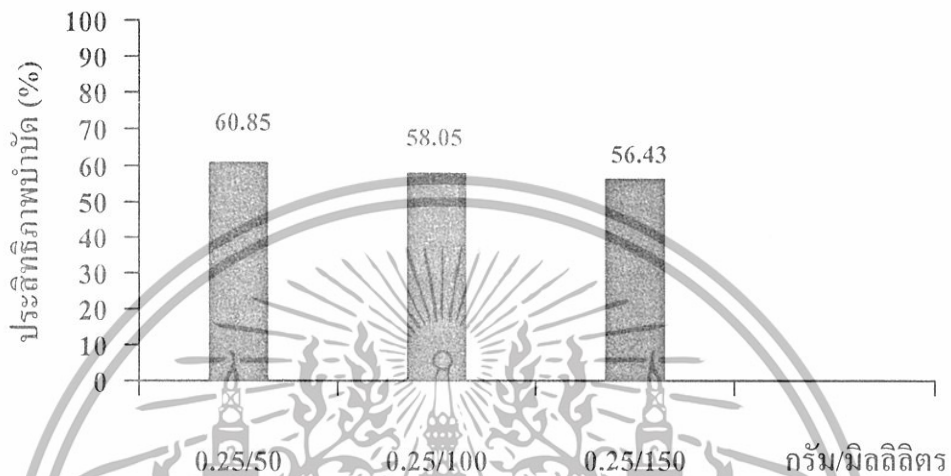
จากรูปที่ 4.2 พบว่า ที่ความเร็วในการปั่นกววน 150 รอบต่อนาที ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด เนื่องจากการปั่นกววนด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น แรงเหวี่ยงอาจทำให้ไหมกระจายออกไปบ้าง ๆ โอกาสที่ไหมจะสัมผัสสี่อ้อมจึงเกิดได้น้อยลง

4.1.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาณตัวดูดซับต่อปริมาตรสี่อ้อม

ในการศึกษาการบำบัดสี่อ้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน โดยใช้สารละลายสี่อ้อมมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ปั่นกววนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 0.25/50 , 0.25/100 และ 0.25/150 แสดงผลในภาคผนวก ข.1.3 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเร็วยอบ ดังรูปที่ 4.3



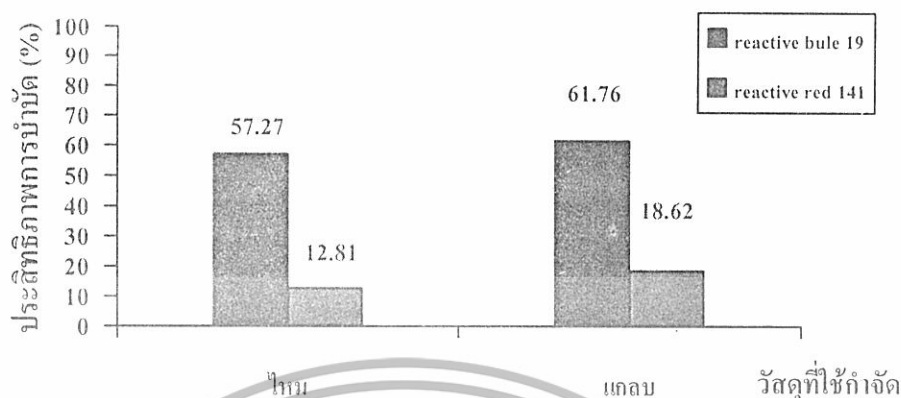
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดกับอัตราส่วนปริมาตรใหม่ต่อปริมาณคลอรีน

จากรูปที่ 4.3 พบว่า อัตราส่วนปริมาตรใหม่ต่อปริมาณคลอรีน ที่เหมาะสม คือ 0.25/50 และที่ส่วน 0.25/100 และ 0.25/150 ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงตามลำดับ เนื่องจากปริมาณใหม่ที่ใส่ดูชั้มีปริมาตรเท่าเดิม แต่ปริมาณคลอรีนมีมากเกินไป จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดคลอรีนด้วยใหม่และเกล็ดดำแบบเบซท์

จากผลการศึกษาสถานะในการบำบัดคลอรีนดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1 พบว่าที่เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง ความเร็วในการปั่นกวาน 150 รอบต่อนาทีและอัตราส่วนใหม่ต่อปริมาณคลอรีน 0.25/50 เป็นสถานะที่ดีที่สุด จึงนำสถานะนี้มาใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพคลอรีนด้วยสิน้ำเงินและสีแดงด้วยใหม่และเกล็ดดำ แสดงผลในภาคผนวก ข.2.1 และ ข.2.2 นำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับชนิดตัวดูชั้ ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟประสิทธิภาพการกำจัดสีของรีแอคทีฟสีน้ำเงินและสีแดงของไทยและกาลาบ

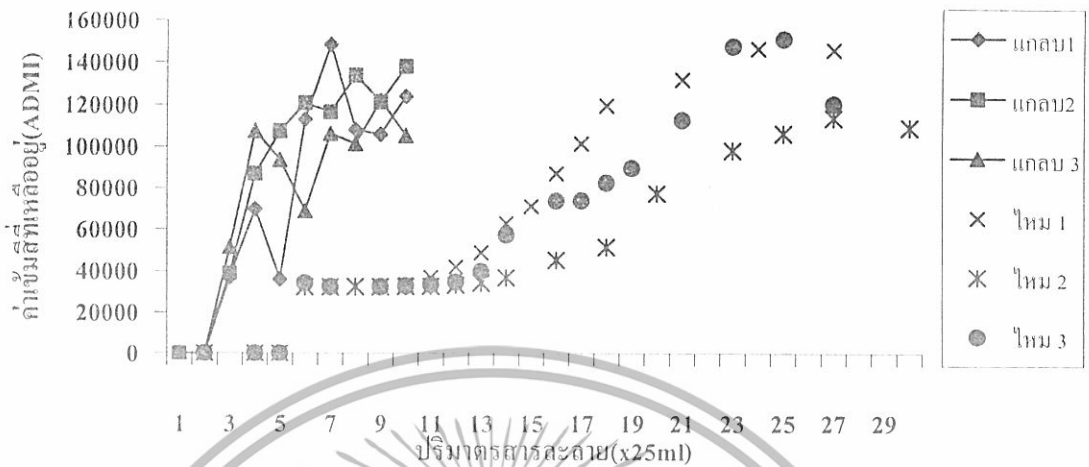
จากรูปที่ 4.4 พบว่า ในการบำบัดสีของรีแอคทีฟ กาลาบสามารถบำบัดสีของรีแอคทีฟทั้งสีน้ำเงินและสีแดงได้ดีกว่าไทย โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีน้ำเงิน และแดงร้อยละ 61.76 และ 18.62 ตามลำดับ เนื่องจาก ที่ระยะเวลาการสัมผัสเท่ากัน กาลาบเป็นกลไกการดูดซับทางกายภาพ แต่ไทยเป็นกลไกการดูดซับทางเคมี โอกาสที่โมเลกุลสีจะแทรกเข้าไปในรูพรุนของกาลาบจึงเกิดขึ้นได้ง่ายกว่า ดังนั้นกาลาบจึงมีประสิทธิภาพสีดีกว่าไทย

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีของรีแอคทีฟด้วยไทยและกาลาบดำนแบบคอลัมน์

4.3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีของรีแอคทีฟสีแดงของไทยและกาลาบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีของรีแอคทีฟสีแดงของไทยและกาลาบดำแบบคอลัมน์ โดยบรรจุไทยและกาลาบจำนวน 24 กรัม ลงในคอลัมน์นี้ผ่านสารละลายสีเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เป็น 1 มิลลิตรต่ออนาที เก็บสารละลายทุกๆ 25 มิลลิตรและนำไปวัดค่าความเข้มของสีที่เหลืออยู่ในหน่วย ADMI แสดงผลในภาพผนวก ข.3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความเข้มข้นที่เหลือน้อยอยู่กับปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์

จากรูปที่ 4.5 การนำน้ำคั่งขี้นรีแอกทีฟสีแดงด้วยไหมและเกลบ สำหรับเกลบดำ พบว่าค่าความเข้มของสีขี้นที่ออกจากคอลัมน์ในช่วงแรกจะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ หลังจากปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 50 มิลลิลิตร ค่าความเข้มของสีขี้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มคงที่ จนกระทั่งที่ปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 250 มิลลิลิตร สังเกตพบว่าสีของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์มีสีใกล้เคียงน้ำก่อนที่จะนำมิด และสำหรับไหมพบว่าค่าความเข้มของสีขี้นที่ออกจากคอลัมน์ในช่วงแรกจะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ หลังจากปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 325 มิลลิลิตร ค่าความเข้มของสีขี้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มคงที่อีกครั้งที่ปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 625 มิลลิลิตร แสดงว่าไหมมีอัตราการดูดซับช้ากว่าเกลบดำ ฉะนั้นในการดูดซับของไหมจึงถึงจุดอิ่มตัวช้ากว่าเกลบ

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของไหมและเกลบดำพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของเกลบจะลดลงอย่างรวดเร็วโดยประสิทธิภาพการบำบัดของเกลบจะคงที่เมื่อปริมาณสารละลายเท่ากับ 175 มิลลิลิตร ในขณะที่ไหมประสิทธิภาพการบำบัดจะค่อยๆลดลงและคงที่เมื่อปริมาณสารละลายเท่ากับ 625 มิลลิลิตร

ดังนั้นการนำน้ำคั่งขี้นรีแอกทีฟสีแดงของไหมและเกลบดำ พบว่าไหมมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าเกลบดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมริแอกทีฟสีน้ำเงินของไหมและเกลบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมริแอกทีฟสีน้ำเงินของไหมและเกลบค่าแบบคอลัมน์ โดยบรรจุไหมและเกลบจำนวน 24 กรัม ลงในคอลัมน์ ผ่านสารละลายสีข้อมเข้มขึ้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ปรับพีเอชเท่ากับ 9 ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เป็น 1 มิลลิตรต่ออนาที เก็บสารละลายทุกๆ 25 มิลลิตรและนำไปวัดค่าความเข้มของสีที่เหลืออยู่ในหน่วย ADMI แสดงผลในภาคผนวก ข.3.2



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความเข้มสีที่เหลืออยู่กับปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์

จากรูปที่ 4.6 การบำบัดสีข้อมริแอกทีฟสีน้ำเงินด้วยไหมและเกลบ พบว่า ค่าความเข้มของสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์ที่บำบัดด้วยเกลบค่าในช่วงแรกจะมีค่าต่ำและคงที่ หลังจากปริมาณสารละลายเท่ากับ 375 มิลลิตร ค่าความเข้มของสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์จะเพิ่มอย่างรวดเร็วและคงที่อีกครั้งเมื่อปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 700 มิลลิตร และสำหรับการบำบัดสีข้อมริแอกทีฟสีน้ำเงินของไหม ผลการเปลี่ยนแปลงเป็นเช่นเดียวกับเกลบค่า คือ ค่าความเข้มของสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์ที่บำบัดด้วยเกลบค่าในช่วงแรกจะมีค่าต่ำและคงที่หลังจากปริมาณสารละลายเท่ากับ 375 มิลลิตร ค่าความเข้มของสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์จะเพิ่มอย่างรวดเร็วและคงที่อีกครั้ง เมื่อปริมาณสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 750 มิลลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของไหมและเกลบคำพบว่าเมื่อสารละลายที่ออก
จากคอลัมน์นี้มีปริมาตรเท่ากับ 2500 มิลลิลิตร ทั้งไหมและเกลบคำมีประสิทธิภาพในการบำบัด
สีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเท่ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการบำบัดสีข้อมสีน้ำเงินด้วยไหมโดยการทดลองแบบแบบซัทซ์ สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้ คือ เวลาสัมผัสที่ 1 ชั่วโมง ความเร็วในการปั่นกวนที่ 150 รอบต่อนาที และ อัตราส่วนปริมาณไหมต่อปริมาตรสีข้อมเป็น 0.25 กรัมต่อปริมาตรสีข้อม 50 มิลลิลิตร

ในการหาประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมสีน้ำเงินและสีแดงด้วยไหมและแกลบโดยการทดลองแบบแบบซัทซ์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ แกลบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมสีน้ำเงินและสีแดงดีกว่าไหม คือ 61.76% และ 57.27% ตามลำดับ และสามารถบำบัดสีน้ำเงินได้ดีกว่าสีแดง

ในการหาประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมสีน้ำเงินและสีแดงด้วยไหมและแกลบโดยการทดลองแบบคอตมันน์ ซึ่งบรรจุไหมและแกลบจำนวน 24 กรัม เท่ากันลงในคอตมันน์แต่ด้วยลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับที่แตกต่างกัน ทำให้ความหนาแน่นของตัวดูดซับในคอตมันน์ไม่เท่ากัน และทำการศึกษาที่สภาวะ อัตราการไหล 1 มิลลิติตรต่อนาที ความเข้มข้นสารละลายสีข้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 9 สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ การบำบัดสีข้อมสีแดง พบว่า ปริมาตรสารละลายที่จุด Breakthrough ของไหมและแกลบค่าเท่ากับ 325 มิลลิลิตร และ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ไหมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมสีแดงดีกว่าแกลบค่า ขณะที่การบำบัดสีข้อมสีน้ำเงิน พบว่า ปริมาตรสารละลายที่จุด Breakthrough ของไหมและแกลบค่าเท่ากับ 375 มิลลิลิตร จึงสรุปได้ว่าไหมและแกลบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมสีน้ำเงินใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาสภาวะการทดลองแบบแบบซัทซ์ ไม่ได้ศึกษาครอบคลุมถึงแกลบค่า ถ้ามีการศึกษาจะทำให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างไหมกับแกลบค่าได้ดียิ่งขึ้น
2. ในการบำบัดสีข้อมสีน้ำเงินด้วยไหมและแกลบ ไม่สามารถแยกความแตกต่างของตัวดูดซับ 2 ชนิดได้ชัดเจน ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายสีข้อมให้มากขึ้น
3. การนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องคำนึงถึงภาระของเสียในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมในงานอุตสาหกรรมควรที่จะมีการศึกษาประสิทธิภาพของตัวควบคุมเปรียบเทียบกับด้านกัมมันต์

5. หน่วย ADMI เป็นหน่วยที่ใช้บอกภาพโดยรวมของสี จึงนิยมใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากโรงงาน เนื่องจากสีของน้ำทิ้งมีสีดำคล้ำ

6. ควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในการควบคุมสีย้อมประเภทอื่นเช่น สีย้อมเอซิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- 1.กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม.
- 2.ชัชชนก โชคชัยเจริญ, พิมพ์สิรินทร์ แดงสรน้อย และอาทิตย์ วาณิชชิตศักดิ์. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อ การคงตัวของเอนไซม์ที่ผลิตจากการเผาไหม้ถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3.จรรยา คงฤทธิ์. 2546. การกำจัดโลหะหนักฟีนอลและสีย้อมผ้าออกจากน้ำเสียด้วยซีเอนท์แกลบดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 4.ดวงพร แก่นแก้วและวรรณช สมส่งกุล. 2546. การปรับปรุงโฟมพอลิสไตรีนเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมโดยปฏิกิริยารีดักทีฟแอมมิเนชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 5.นรารักษ์ นนเมืองรักษ์. 2548. การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 6.นิคม โทห้ำ, นิลุบล นุ่มสกุล และหทัยชนก เหล็กดี. 2547. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบคอลัมน์โดยใช้โฟมพอลิสไตรีนและวัสดุธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 7.นันทิยา ศรีสุวรรณ, พงษ์พันธ์ วรรณสุด และรัชนีทร ก้องสุรินทร์. 2547. การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยระบบบำบัดแบบไมใช่และใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 8.ยุพา ตันทวี. เอกสารประกอบการสอน การควบคุมมลพิษทางน้ำ. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 9.ราตรี ปิ่นทอง, ดัชนี ตันติจรรยารัตน์ และสุชาลณี วงศ์ศรีวัฒนกุล. 2543.
การดูดซับสารละลายสีย้อมโดยใช้ต้นข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง
- 10.เรื่องลักษณะ จามิกรณ. 2545. ชีวเคมีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 11: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
รามคำแหง.
- 11.AHPA. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater*. 19th ed.
Washington.D.C: American Public Health Association
- 12.Malik, P.K. 2003. Use of Activated Carbons prepared from sawdust and rice husk for
adsorption of acid dyes: a case study of acid yellow 36.
Dyes and pigment.56(3): 239-249.
- 13.Low, K.s. and Lee, C.K. 1997. Quaternized Rice Husk adsorbent for Reactive Dyes.
Bioresource Techn. 61: 121-125.
- 14.Rangekar, D.W. and Singh, P.P. *An introduction to synthetic dyes*. Bombay: Himalaya
Publishing House. 1980.
- 15.www.iontosorb.CZ/ blue. Gif ; 24/10/05
- 16.www.pdti.kmutt.ac.th/biohydrometallurgy/std_ac01.html; 12/12/05
- 17.www.colour-index.org; 8/1706

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การหาค่า ADMI
โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

การวัดสีข้อมในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI, 1995)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร
- 1.2 อุปกรณ์สำหรับกรองแบบลดความดัน
- 1.3 ฟิวเตอร์พลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.4 กระจาดกรอง GF/C
- 1.5 กระจาดกรอง 0.45 ไมครอน
- 1.6 เซลล์วัดแสงที่มีช่วงรับแสง 10 มิลลิเมตร

2. สารเคมี

- 2.1 โพแทสเซียมคลอโรเพอเตตเตนต (K_2PtCl_6) เตรียมได้จาก 2.3.1 หรือ 2.3.2
 - 2.3.1 โพแทสเซียมคลอโรเพอเตตเตนต (K_2PtCl_6) จำนวน 1.246 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร และโคบอลต์(II)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 1.00 กรัม และเจือจางจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร ซึ่งจะมีหน่วยสีเท่ากับ 500 ADMI หรืออาจใช้
 - 2.3.2 โลหะแพลตตินัมบริสุทธิ์ 500 มิลลิกรัม ละลายในกรดกัดทอง (Aqua regia) โดยการให้ความร้อนได้กรดไนตริกด้วยการระเหย และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงไปใหม่ จนละลายได้หมด จากนั้นจึงเติม โคบอลต์ (II) คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 1.00 กรัม แล้วจึงปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดลอง

3.1 การเตรียมสารละลายสีมาตรฐานที่มีสี 25 50 75 100 200 300 400 และ 500 ADMI โดยการเจือจางสารละลายสีต่อจากสารเคมีข้อ 2.3.1 หรือ 2.3.2 โดยปีเปตมา 2.5 5 7.5 10 20 30 40 และ 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร สำหรับสารละลายสีมาตรฐานที่มีสีเท่ากับ 500 ADMI ไม่ต้องทำการปรับปริมาตรใดๆทั้งสิ้น

- นำละลายสีมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อนแล้วนำไปกรองต่อด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน

- นำมาวัดค่าทรานส์มิทแตนซ์ (%T) แต่ละความยาวคลื่นดังตารางที่ ก.1

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างทำเช่นเดียวกันกับ สีมาตรฐานทุกประการ

ตารางที่ ก.1 แสดงโคออร์ดิเนตที่ต้องวัดในการวัดสีด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

Coordinate No.	X	Y	Z
	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณ

4.1. การหาค่า tristimulus (X_s, Y_s, Z_s)

หาผลรวมค่าทราวิสตีมิตแตนซ์ของแต่ละช่วง (X,Y,Z) จากนั้นคูณด้วยแฟคเตอร์ที่เหมาะสม จะได้ค่า Tristimulus (X_s, Y_s, Z_s) ของแต่ละสีมาตรฐานและตัวอย่าง

4.2. การหาค่า Munsell (V_{xs}, V_{ys}, V_{zs})

นำค่า Tristimulus ที่ได้จากการคำนวณมาหาค่า Munsell ต่อ โดยใช้แฟคเตอร์และสมการของ Breneman's ,1967

4.3. การหาค่าความแตกต่างของสี Adams-Nickerson (DE)

นำค่า tristimulus และค่า Munsell ที่ได้จากการคำนวณมาคำนวณต่อโดยใช้สมการของ Bridgeman, 1963 คือ

$$DE = \{ (0.28\Delta V_y)^2 + [\Delta(V_x - V_y)]^2 + [0.4\Delta(V_y - V_z)]^2 \}^{1/2}$$

เมื่อ

$$V_y = V_{ys} - V_{yc}$$

$$\Delta(V_x - V_y) = (V_{xs} - V_{ys}) - (V_{xc} - V_{yc})$$

$$\Delta(V_y - V_z) = (V_{ys} - V_{zs}) - (V_{yc} - V_{zc})$$

4.4 การหาค่า Calibration Factor (F)

นำค่า DE จากตัวอย่างสีมาตรฐานมาหาค่า F ตามสมการ

$$\text{ค่า } F = \frac{(APHA)_n(b)}{(DE)_n}$$

นำค่า F และ DE มาพลอตกราฟโดยให้ แกน Y เป็นค่า F และค่า DE เป็นแกน X

4.5 การคำนวณหาค่า ADMI ของตัวอย่าง

ทำการคำนวณได้โดย ใช้สมการดังนี้

$$\text{ค่า ADMI} = \frac{(F)(DE)}{b}$$

เมื่อ ค่า b คือความกว้างของช่วงแสงที่ผ่านสารละลาย (ความกว้างของเซลล์วัดแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการศึกษาโครงการพิเศษจะใช้โปรแกรม EXCEL ในการคำนวณผลเพื่อสะดวกในการใช้งานดังตัวอย่าง

APHA (250)						
Coordinate	wavelength	%T of X	wavelength	%T of Y	wavelength	%T of Z
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	90.9	489.5	92.5	422.2	87.9
5	461.2	89.4	515.2	96.2	432.0	90.5
8	544.3	98.4	529.8	97.9	438.6	90.9
11	564.1	99.1	541.4	98.2	444.4	90.4
14	577.4	100	551.8	98.7	450.1	89.5
17	588.7	100.6	561.9	99.3	455.9	89.2
20	599.6	100.1	572.5	99.3	462.0	89.1
23	610.9	100.3	584.8	100.5	468.7	90
26	624.2	100.5	600.8	99.7	477.7	90.9
29	654.9	101.1	627.3	100.4	495.2	92.6

APHA (300)						
Coordinate	wavelength	%T of X	wavelength	%T of Y	wavelength	%T of Z
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	87.1	489.5	89.3	422.2	85.3
5	461.2	85.7	515.2	93.8	432.0	87.7
8	544.3	87.3	529.8	96.5	438.6	86.8
11	564.1	99.5	541.4	97.6	444.4	86.2
14	577.4	100	551.8	98.7	450.1	85.7
17	588.7	100	561.9	99.2	455.9	86.3
20	599.6	100.2	572.5	99.7	462.0	85.8
23	610.9	101	584.8	99.8	468.7	86.4
26	624.2	101	600.8	100.1	477.7	86
29	654.9	101.3	627.3	101.2	495.2	90.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APHA (400)						
Coordinate	wavelength	%T of X	wavelength	%T of Y	wavelength	%T of Z
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	83	489.5	86.1	422.2	79.8
5	461.2	81.1	515.2	92.5	432.0	83
8	544.3	96.6	529.8	95.7	438.6	82
11	564.1	99.9	541.4	97.4	444.4	81.5
14	577.4	99	551.8	98.2	450.1	81.1
17	588.7	99.4	561.9	99.3	455.9	80.8
20	599.6	99.4	572.5	99.5	462.0	81.2
23	610.9	100.8	584.8	99.2	468.7	82
26	624.2	101	600.8	99.3	477.7	83.1
29	654.9	101	627.3	100.5	495.2	87.2

APHA (500)						
Coordinate	wavelength	%T of X	wavelength	%T of Y	wavelength	%T of Z
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	77.8	489.5	82.2	422.2	75.1
5	461.2	76.3	515.2	89.7	432.0	77.8
8	544.3	95.9	529.8	92.9	438.6	76.9
11	564.1	98	541.4	95.3	444.4	76.5
14	577.4	98.2	551.8	96.8	450.1	75.5
17	588.7	99.2	561.9	97.4	455.9	76
20	599.6	99.3	572.5	98.5	462.0	76
23	610.9	100.4	584.8	99.2	468.7	77.2
26	624.2	100.5	600.8	99.3	477.7	79.2
29	654.9	100.6	627.3	100.5	495.2	83.8

APHA (1000)						
Coordinate	wavelength	%T of X	wavelength	%T of Y	wavelength	%T of Z
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	60.3	489.5	61.1	422.2	57.3
5	461.2	57.5	515.2	80.3	432.0	60.7
8	544.3	91.6	529.8	86.5	438.6	60
11	564.1	95.4	541.4	90.3	444.4	58.6
14	577.4	96.4	551.8	93.4	450.1	57.6
17	588.7	97.4	561.9	95.1	455.9	57.4
20	599.6	97.4	572.5	96.4	462.0	57.8
23	610.9	99.5	584.8	97.5	468.7	58.8
26	624.2	100.4	600.8	97.3	477.7	62.2
29	654.9	100.7	627.3	100.5	495.2	69.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

distilled water	
X	98.09
Y	100
Z	118.35

sample						
Coordinate	wavelength	%T of X	wavelength	%T of Y	wavelength	%T of Z
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	96.2	489.5	94.5	422.2	95.7
5	461.2	96.1	515.2	91.8	432.0	96.3
8	544.3	87.7	529.8	89.8	438.6	96.5
11	564.1	85	541.4	87.3	444.4	96.3
14	577.4	83.2	551.8	86.6	450.1	96.3
17	588.7	82.4	561.9	85.2	455.9	96.4
20	599.6	82.6	572.5	83.9	462.0	96
23	610.9	83.8	584.8	82.7	468.7	98.7
26	624.2	84.1	600.8	82.6	477.7	95.2
29	654.9	88.6	627.3	84.3	495.2	94.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XYZ * factor APHA 250						
Coordinate	wavelength		wavelength		wavelength	
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	1.125342	489.5	0.034225	422.2	5.229171
5	461.2	3.50001	515.2	0.426166	432.0	18.67739
8	544.3	1.094208	529.8	1.584022	438.6	8.600049
11	564.1	0.088199	541.4	4.746006	444.4	1.37408
14	577.4	2.785	551.8	9.030063	450.1	0.174525
17	588.7	7.365932	561.9	9.082971	455.9	0.01784
20	599.6	8.957949	572.5	5.278788	462.0	0.006237
23	610.9	5.324927	584.8	2.20095	468.7	0
26	624.2	1.367805	600.8	0.502488	477.7	0
29	654.9	0.172881	627.3	0.062248	495.2	0

XYZ * factor APHA 300						
Coordinate	wavelength		wavelength		wavelength	
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	1.078298	489.5	0.033041	422.2	5.074497
5	461.2	3.355155	515.2	0.415534	432.0	18.099526
8	544.3	0.970776	529.8	1.56137	438.6	8.212148
11	564.1	0.088555	541.4	4.717008	444.4	1.31024
14	577.4	2.785	551.8	9.030063	450.1	0.167115
17	588.7	7.322	561.9	9.073824	455.9	0.01726
20	599.6	8.966898	572.5	5.300052	462.0	0.006006
23	610.9	5.36209	584.8	2.18562	468.7	0
26	624.2	1.37461	600.8	0.504504	477.7	0
29	654.9	0.173223	627.3	0.062744	495.2	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XYZ * factor APHA 400						
Coordinate	wavelength		wavelength		wavelength	
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	1.02754	489.5	0.031857	422.2	4.747302
5	461.2	3.175065	515.2	0.409775	432.0	17.12954
8	544.3	1.074192	529.8	1.548426	438.6	7.75802
11	564.1	0.088911	541.4	4.707342	444.4	1.2388
14	577.4	2.75715	551.8	8.984318	450.1	0.158145
17	588.7	7.278068	561.9	9.082971	455.9	0.01616
20	599.6	8.895306	572.5	5.28942	462.0	0.005684
23	610.9	5.351472	584.8	2.17248	468.7	0
26	624.2	1.37461	600.8	0.500472	477.7	0
29	654.9	0.17271	627.3	0.06231	495.2	0

XYZ * factor APHA 500						
Coordinate	wavelength		wavelength		wavelength	
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	0.963164	489.5	0.030414	422.2	4.467699
5	461.2	2.987145	515.2	0.397371	432.0	16.056364
8	544.3	1.066408	529.8	1.503122	438.6	7.275509
11	564.1	0.08722	541.4	4.605849	444.4	1.1628
14	577.4	2.73487	551.8	8.856232	450.1	0.147225
17	588.7	7.263424	561.9	8.909178	455.9	0.0152
20	599.6	8.886357	572.5	5.23626	462.0	0.00532
23	610.9	5.330236	584.8	2.17248	468.7	0
26	624.2	1.367805	600.8	0.500472	477.7	0
29	654.9	0.172026	627.3	0.06231	495.2	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XYZ * factor APHA 1000						
Coordinate	wavelength		wavelength		wavelength	
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	0.746514	489.5	0.022607	422.2	3.408777
5	461.2	2.251125	515.2	0.355729	432.0	12.527266
8	544.3	1.018592	529.8	1.39957	438.6	5.6766
11	564.1	0.084906	541.4	4.364199	444.4	0.89072
14	577.4	2.68474	551.8	8.545166	450.1	0.11232
17	588.7	7.131628	561.9	8.698797	455.9	0.01148
20	599.6	8.716326	572.5	5.124624	462.0	0.004046
23	610.9	5.282455	584.8	2.13525	468.7	0
26	624.2	1.366444	600.8	0.490392	477.7	0
29	654.9	0.172197	627.3	0.06231	495.2	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tristimulus Value	
original pH	
X 250 =	31.7823
Y 250 =	32.9479
Z 250 =	34.0793
X 300 =	31.4766
Y 300 =	32.8838
Z 300 =	32.8868
X 400 =	31.1950
Y 400 =	32.7894
Z 400 =	31.0537
X 500 =	30.8587
Y 500 =	32.2737
Z 500 =	29.1301
X 1000 =	29.4549
Y 1000 =	31.1986
Z 1000 =	22.6312

Munsell Value	
original pH	
Vxr250 =	8.6123
Vyr250 =	8.6294
Vzr250 =	8.4876
Vxr300 =	8.6023
Vyr300 =	8.6274
Vzr300 =	8.4485
Vxr400 =	8.5931
Vyr400 =	8.6245
Vzr400 =	8.3841
Vxr500 =	8.5818
Vyr500 =	8.6082
Vzr500 =	8.3101
Vxr1000 =	8.5328
Vyr1000 =	8.5731
Vzr1000 =	7.9947

Munsell Value C	
Vxc =	9.4781
Vyc =	9.4781
Vzc =	9.4781

term 1	original pH
Vyc-Vyr250 =	0.8487
Vyc-Vyr300 =	0.8507
Vyc-Vyr400 =	0.8536
Vyc-Vyr500 =	0.8699
Vyc-Vyr1000 =	0.9050
0.23*Vyc-Vyr250 =	0.1952
0.23*Vyc-Vyr300 =	0.1957
0.23*Vyc-Vyr400 =	0.1963
0.23*Vyc-Vyr500 =	0.2001
0.23*Vyc-Vyr1000 =	0.2081
0.23*Vyc-Vyr250 sq =	0.0381
0.23*Vyc-Vyr300 sq =	0.0383
0.23*Vyc-Vyr400 sq =	0.0385
0.23*Vyc-Vyr500 sq =	0.0400
0.23*Vyc-Vyr1000 sq =	0.0433

term 2	original pH
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)250 =	0.0171
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)300 =	0.0250
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)400 =	0.0314
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)500 =	0.0264
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)1000 =	0.0403
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)250sq =	0.0003
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)300sq =	0.0006
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)400sq =	0.0010
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)500sq =	0.0007
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)1000sq =	0.0016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

term 3	original pH
$(V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs})250 =$	-0.1418
$(V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs})300 =$	-0.1789
$(V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs})400 =$	-0.2404
$(V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs})500 =$	-0.2981
$(V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs})1000 =$	-0.5785
$0.4*((V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs}))250sq =$	0.0032
$0.4*((V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs}))300sq =$	0.0051
$0.4*((V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs}))400sq =$	0.0092
$0.4*((V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs}))500sq =$	0.0142
$0.4*((V_{yc}-V_{zc})-(V_{ys}-V_{zs}))1000sq =$	0.0535

DEr	original pH
DE250	0.2040
DE300	0.2098
DE400	0.2209
DE500	0.2344
DE1000	0.3138

Fr	original pH
F250	1225.5398
F300	1429.7056
F400	1811.1288
F500	2133.0366
F1000	3186.4161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XYZ * factor sample						
Coordinate	wavelength	%T of X	wavelength	%T of Y	wavelength	%T of Z
No.	(nm)	original pH	(nm)	original pH	(nm)	original pH
2	435.5	1.190956	489.5	0.034965	422.2	5.693193
5	461.2	3.762315	515.2	0.406674	432.0	19.874394
8	544.3	0.975224	529.8	1.452964	438.6	9.129865
11	564.1	0.07565	541.4	4.219209	444.4	1.46376
14	577.4	2.31712	551.8	7.923034	450.1	0.187785
17	588.7	6.033328	561.9	7.793244	455.9	0.01928
20	599.6	7.391874	572.5	4.460124	462.0	0.00672
23	610.9	4.448942	584.8	1.81113	468.7	0
26	624.2	1.144601	600.8	0.416304	477.7	0
29	654.9	0.151506	627.3	0.052266	495.2	0

tristimulus Value	
	Original pH
X	27.491516
Y	28.569914
Z	36.374997

Munsell Value	
	Original pH
Vxs	8.457980827
Vys	8.479045136
Vzs	8.5574077

Munsell Value	
	C
Vxc =	
Vyc =	
Vzc =	

term 1	Original pH
$0.23*(Vyc-Vys) =$	0.229782619
$0.23*(Vyc-Vys)sq =$	0.052800052

term 2	Original pH
$Vxc-Vyc-(Vxs-Vys) =$	0.0211
$Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)sq =$	0.000443705

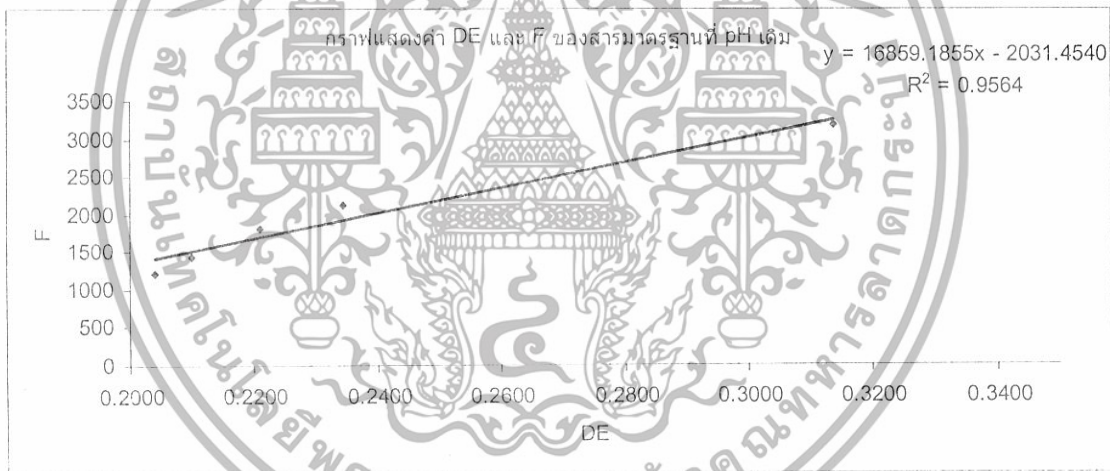
term 3	Original pH
$0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs)) =$	0.031345026
$0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs))sq =$	0.000982511

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEs	Original pH
	0.232865342

Fs	Original pH
	1894.466054

Original pH	
DE	F
0.2040	1226
0.2098	1430
0.2209	1811
0.2344	2133
0.3138	3186
slope =	16859.1855
y-intercept =	-2031.4540



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่า DE และ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

ข.1 ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน (การทดลองแบบแบบทซ์)

ตารางที่ ข.1.1 ผลของเวลาสัมผัสของไหมในการกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับ ค่าพีเอชเท่ากับ 9 อัตราส่วน(ไหม/สีข้อม)เท่ากับ 0.25/50 ปั่นกวน ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความเข้มสีที่เหลืออยู่ (ADMI)		เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
1	310.67	316.67	313.67	4.24	45.98
3	302.67	384.67	343.67	57.98	40.81
5	362.67	352.67	357.67	7.09	38.40

ตารางที่ ข.1.2 ผลของความเร็วในการปั่นกวนของไหมในการกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 9 อัตราส่วน(ไหม/สีข้อม)เท่ากับ 0.25/50 เขย่า เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	ค่าความเข้มสีที่เหลืออยู่ (ADMI)		เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
150	576	582	579	4.24	45.98
250	632	630	631	1.47	32.55
300	621	586	603.5	2.12	35.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.3 ผลของอัตราส่วนปริมาณใหม่ต่อปริมาตรสีย้อมรีแอ็กทีฟสีน้ำเงิน ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 9 ปั่นกวนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เวลาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

อัตราส่วน (ใหม่/สี ย้อม)	ค่าความเข้มสีที่เหลืออยู่ (ADMI)		เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
0.25/50	422	435	428.5	9.19	60.85
0.25/100	444	444	444	0	58.05
0.25/150	453	453	453	0	56.43

ข.2 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอ็กทีฟสีน้ำเงินและสีแดงด้วยใหม่และแกลบ

ตารางที่ ข.2.1 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอ็กทีฟสีน้ำเงินด้วยใหม่และแกลบ ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 9 อัตราส่วน (ใหม่/สีย้อม) เท่ากับ 0.25/50 ปั่นกวน ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เวลาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตัวดูดซับ	ค่าความเข้มสีที่เหลืออยู่ (ADMI)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
แกลบดำ	212.67	227.67	209.67	216.67	20.21	57.27
ใหม่	218.67	258.67	233.67	237	9.64	61.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2.2 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีแดงด้วยไหมและแกลบ ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 9 อัตราส่วน(ไหม/สีย้อม)เท่ากับ 0.25/50 ปั่นกวน ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตัวคูณซ้ำ	ค่าความเข้มสีที่เหลืออยู่ (ADMI)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
แกลบดำ	3182	3178	3139	3166.33	23.76	18.62
ไหม	3468	3419	3291	3392.67	91.39	12.81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินและสีแดงด้วยไหมและเกลบ

(การทดลองแบบคอถัมน์)

ตารางที่ ข.3.1 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟสีแดงด้วยไหมและเกลบ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 9 ปริมาณการไหลของสารละลายที่ออกจากคอถัมน์ เป็น 1 มิลลิตรต่อนาที

ค่าความขุ่นที่เก็บอยู่ (ADMI)									
ไหม					เกลบ				
ขวดที่วัด	1	ขวดที่วัด	2	ขวดที่วัด	3	ขวดที่วัด	1	2	3
2	11	2	7	2	66	1	11	22	50
4	21	4	4	4	63	2	24	29	28
5	4	5	2	5	69	3	36900.67	38924.67	51503.67
6	32354.67	6	32342.67	6	34110.67	4	69717.67	86975.67	107519.7
7	32391.67	7	32373.67	7	32434.67	5	35894	107386.7	93735.67
8	32494.67	8	32408.67	9	32492.67	6	113126.7	120877.7	68875.67
9	32783.67	9	32481.67	10	32910.67	7	148617.7	116600.7	106295.7
10	33551.67	10	32592.67	11	33485.67	8	108220.7	134106.7	101468.7
11	36953.67	11	32718.67	12	34744.67	9	106003.7	121371.7	122208.7
12	42073.67	12	33349.67	13	40040.67	10	124195.7	138374.7	105408.7
13	48860.67	13	34294.67	15	57426.67				
14	63054.67	14	36870.67	17	74021.67				
15	71344.67	16	45417.67	18	74218.67				
16	87372.67	18	51719.67	19	82846.67				
17	101724.67	20	77739.67	20	90116.67				
18	119917.67	23	98607.67	22	113150.7				
21	132385.67	25	106766.7	24	148365.7				
24	147255.67	27	114335.7	26	151947.7				
27	146736.67	30	109655.7	28	120962.7				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3.2 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดสีรีนออกทีฟสีน้ำเงินด้วยไหมและแกลบ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 9 ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ เป็น 1 มิลลิตรต่อนาที

ค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ADMI)											
แกลบ						ไหม					
ขวดที่		ขวดที่		ขวดที่		ขวดที่		ขวดที่		ขวดที่	
วัด	1	วัด	2	วัด	3	วัด	1	วัด	2	วัด	3
5	37	9	61	5	8	5	8	5	0	5	6
10	82	18	52	10	9	10	11	10	0	10	4
15	68	20	2086	15	14	15	22	15	13	15	18
20	2110	28	2150	18	31	20	2039	20	2032	18	27
26	2235	29	2163	21	2049	23	2053	23	2053	20	2034
30	2085	30	2256	22	2069	25	2057	25	2064	23	2051
35	2078	33	2353	24	2061	27	2085	27	2057	25	2053
41	2214	35	2333	29	2060	30	2129	30	2084	30	2112
42	2081	47	2341	33	2068	35	2135	33	2157	32	2128
45	2119	52	2318	34	2068	40	2122	35	2131	35	2172
48	2103	62	2342	39	2067	49	2146	40	2168	40	2107
51	2089	70	2380	43	2074	50	2155	45	2139	45	2125
55	2124	75	2206	44	2091	53	2116	50	2138	50	2169
58	2133	80	2318	48	2341	56	2155	52	2154	53	2139
61	2157	85	2353	53	2158	59	2168	57	2126	55	2126
63	2184	90	2371	57	2135	65	2156	62	2139	60	2139
65	2272	93	2394	61	2153	68	2157	73	2146	65	2154
67	2308	94	2361	65	2159	72	2128	78	2155	70	2131
71	2369	96	2391	66	2218					75	2138
76	2388	97	2389	67	2243					80	2130
78	2365	98	2401								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูล MSDS ของสารเคมี

1. MSDS ของ Remazol Brilliant Blue R

ค.1.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : Remazol Brilliant Blue R; C.I.61200;
C.I. Reactive Blue 19, Disodium salt

สูตรโมเลกุล : $C_{22}H_{14}N_2O_{11}S_3Na_2$

น้ำหนักโมเลกุล : 624.52

CAS No. : 2580-78-1

ค.1.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Physical	: มีลักษณะเป็นผงละเอียด
Appearance	: เป็นผงมีสีม่วงเข้มจนถึงดำ
Odor	: None reported
pH	: Not available
Vapor Pressure	: Not available
Vapor Density	: Not available
Evaporation Rate	: Not available
Viscosity	: Not available
Boiling Point	: Not available
Freezing/Melting Point	: Not available
Decomposition Temperature	: Not available
Solubility	: Not available
Specific Gravity/Density	: Not available

ค.1.3 Toxicology

ทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อตับ เป็นสารที่ก่อให้เกิดเนื้องอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rat: TDLO : 87 g/kg/2Y-I

Subcutaneous mouse : TDLO : 47g/kg/39W-I

ก.1.4 Personal Protection

ควรสวมแว่นตานิรภัย ถุงมือ และสวมเสื้อผ้าที่มิดชิดเพื่อป้องกันการสัมผัสกับสารเคมีโดยตรง

2. MSDS ของ POTASSIUM HEXACHLOROPLATINATE (IV)

ก.2.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ	: POTASSIUM HEXACHLOROPLATINATE (IV)
สูตรโมเลกุล	: $\text{Cl}_6\text{K}_4\text{Pt}$
น้ำหนักโมเลกุล	: 486.01
CAS No.	: 16921-30-5

ก.2.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Physical Appearance	: มีลักษณะเป็นของแข็ง
Odor	: มีกลิ่นออกส้ม
pH	: NA
Vapor Pressure	: NA
Vapor Density	: NA
Evaporation Rate	: NA
Viscosity	: NA
Boiling Point*	: NA
Freezing/Melting Point	: NA
Decomposition Temperature	: NA
Solubility	: NA
Specific Gravity/Density	: 3.48 g/cm ³

ก.2.3 Toxicology

เป็นพิษเมื่อกลืนกิน ระคายเคืองต่อตาและระบบหายใจ อาจก่อให้เกิดอาการแพ้

เมื่อสูดดม, ถูกผิวหนัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิษเฉียบพลัน :D₅₀ (oral, rat): < 50 mg/kg

ก.2.4 Personal Protection

เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมี ทาครีมป้องกันผิวหนัง ล้างมือและหน้าหลังทำงาน
กับสารที่มีความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

3. MSDS ของ Cobalt(II) chlorohexahydrate

ก.3.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : Cobalt(II) chlorohexahydrate

สูตรโมเลกุล : CoCl₂ .6 H₂O

น้ำหนักโมเลกุล :

CAS No. : 7646-79-9

ก.3.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Physical : มีลักษณะเป็นของเหลว

Appearance : มีสีแดงออกชมพู

Odor : NA

pH : 4.8 (T 20 °C)

Vapor Pressure : NA

Vapor Density : NA

Evaporation Rate : NA

Viscosity : NA

Boiling Point : NA

Freezing/Melting Point : NA

Decomposition Temperature : NA

Solubility : soluble (T 20 °C)

Specific Gravity/Density : 1.04 g/cm³ (T 20 °C)

ก.3.3 Toxicology

อาจก่อให้เกิดผลเสียแก่ร่างกาย อาจก่อให้เกิดอาการแพ้เมื่อถูกผิวหนัง

พิษเฉียบพลัน LD₅₀ (oral, rat) : 80 mg/kg (toxicologically determinant c)

ความเป็นพิษถึงเฉียบพลันถึงเรื้อรัง : การทดลองในสัตว์ภายใต้ภาวะเดียวกับการ

ทำงานจริง แสดงให้เห็นว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3.4 Personal Protection

เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมี ให้ทาครีมป้องกันผิวหนัง ล้างมือหลังจากการใช้สาร
ที่มีความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

4. MSDS ของ Sodium hydroxide

ค.4.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : Sodium hydroxide , caustic soda,
sodium hydrate

สูตรโมเลกุล : NaOH

น้ำหนักโมเลกุล : 40

CAS No. : 1310-73-2

ค.4.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Physical : เป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น

Appearance : มีสีขาว

Odor : NA

Vapor Pressure : 1 mm Hg at 739 °C

Vapor Density : NA

Evaporation Rate : NA

Viscosity : NA

Boiling Point : 1390 °C

Freezing/Melting Point : 318 °C

Decomposition Temperature : NA

Solubility : soluble

Specific Gravity/Density : 2.12

ค.4.3 Toxicology

ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองอย่างรุนแรง เป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ได้ เป็น
สาเหตุที่ทำให้เกิดการทำลายดวงตาอย่างรุนแรง เป็นพิษอย่างรุนแรงเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร

ค.4.4 Personal Protection

ควรสวมอุปกรณ์ป้องกันดวงตาเมื่อต้องใกล้ชิดกับสาร อยู่ในที่ที่มีการระบาย

อากาศอย่างทั่วถึง สวมถุงมือที่ทำด้วย PVC หรือ Neoprene
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. MSDS ของ Hydrochloric acid

ก.5.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ	: muriatic acid , Hydrochloric acid
สูตร โมเลกุล	: HCL
น้ำหนัก โมเลกุล	:36.5
CAS No.	: 7647-01-0

ก.5.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Physical	: เป็นของเหลว
Appearance	: เป็นสารละลายมีเหลืองอ่อนมีกลิ่นฉุน
Odor	: NA
Vapor Pressure	: NA
Vapor Density	: NA
Evaporation Rate	: NA
Viscosity	: NA
Boiling Point	: 190 °C
Freezing/Melting Point	: -25 °C
Decomposition Temperature	: NA

ก.5.3 Toxicology

การสูดดม เมื่อหายใจเอาไอของสารเข้าไปจะเกิดอันตรายอย่างรุนแรง ถ้าเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารอาจเกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ สารละลายของเหลวสามารถทำลายผิวหนังและดวงตาได้

ก.5.4 Personal Protection

ควรสวมอุปกรณ์ป้องกันดวงตาหรือหน้ากาก , ถุงมือ และควรอยู่ในที่ที่มีการระบายอากาศอย่างทั่วถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้