

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสีย้อมรีเอกทีฟแบบคอลัมน์โดยใช้โพลีเมอร์และวัสดุธรรมชาติ



นายนิคม โทห้ำ
นางสาวนิลบล นุ่มสกุล
นางสาวหทัยชนก เหล็กดี

2/7/2549
26559/ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62048
วัน,เดือน,ปี..... 27 ก.ค. 2549

b..... 11608870
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Removal of Reactive Dyes in a Packed Column using Polystyrene Foam
and Natural Materials**



**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**

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดสีข้อมรีเอกทีฟแบบคอลัมน์โดยใช้โพลีเมทิลสไตรีน และวัสดุธรรมชาติ

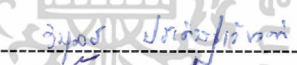



โดย นายนิคม โทห้ำ
นางสาวนิลบล นุ่มสกุล
นางสาวหทัยชนก เหล็กดี


ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ	อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล	
กรรมการ	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์	
กรรมการ	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ควงดี)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบคอตัมน์โดยใช้โฟมพอลิสไตรีนและวัสดุธรรมชาติ	
นักศึกษา	นายนิคม	โทหกล้า
	นางสาวนิลบล	นุ่มสกุล
	นางสาวหทัยชนก	เหล็กดี
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. มาลินี	ชัยศุภกิจสินธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.พิสมัย	ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยโฟมพอลิสไตรีนและวัสดุธรรมชาติได้แก่ ไหม แกลบดำ ขุยมะพร้าวและถ่านกะลามะพร้าวโดยทำการทดลองแบบไหลต่อเนื่องผ่านคอตัมน์แก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร มีความยาว 80 เซนติเมตร สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ความเข้มข้นสารละลายสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมของโฟมพอลิสไตรีน ถ่านกะลามะพร้าวและขุยมะพร้าวมีค่าต่ำเท่ากับ 5.00%, 39.92% และ 57.97% ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมของไหมและแกลบดำมีค่าเท่ากับ 94.95% และ 88.53 % ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไหมและแกลบดำมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อม โดยศึกษาที่อัตราการไหล 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ที่พีเอช 9 และ 11 และความเข้มข้นสารละลายสีย้อม 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของไหมและแกลบดำดีที่สุดที่อัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ที่พีเอชเท่ากับ 9 และความเข้มข้นสารละลายสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 72.76% และ 70.39% ตามลำดับ

คำสำคัญ : สีย้อมรีแอกทีฟ, โฟมพอลิสไตรีน, วัสดุธรรมชาติ, คอตัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Removal of Reactive Dyes in a Packed Column using Polystyrene Foam and Natural Materials.	
Name	Mr. Nikom	Tolah
	Miss Nilubon	Numsakul
	Miss Hathaichanok	Lekdee
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2004	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Malinee	Chaisupakitsin
Special Project co-advisor	Asst.Prof.Pitsamai	Chairat-utai

ABSTRACT

This special project study on the possibility of using polystyrene foam and natural materials such as silk residues, black rice husk, coconut coir and coconut shell charcoal for reactive dyes treatment. Glass column diameter 2.5 cm, length 80 cm was used for continuous flow system in an experimental design. Operating parameters such as rate of flow 1 ml min^{-1} and concentration of synthetic dyes wastewater 100 mg l^{-1} were investigated. The results showed that polystyrene foam, coconut shell charcoal and coconut coir gave low removal efficiency at 5.00%, 39.92% and 57.97% respectively, while silk residues and black rice husk gave high removal efficiency at 94.95% and 88.53% respectively. Thus, we choose silk residues and black rice husk for appropriate conditions studies by changing rate of flow 1, 2 and 3 ml min^{-1} , pH 9 and 11 and concentration of synthetic dyes wastewater 100 and 400 mg l^{-1} . Silk residues and black rice husk at rate of flow 1 ml min^{-1} , pH 9 and concentration of dyes in synthetic dyes wastewater 100 mg l^{-1} provided good removal efficiency at 72.76% and 70.39% respectively.

Keywords : Reactive Dyes, Polystyrene Foam, Natural Materials, Column.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่ให้คำปรึกษาในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ ขอบพระคุณพ่อกับแม่ที่เป็นกำลังใจในการทำวิจัยจนสำเร็จ ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการต่างๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือมาตลอด และขอขอบใจเพื่อนๆ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ชั้นปีที่ 4 ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการค้นหาข้อมูล และเป็นกำลังใจมาตลอด รายงานฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ ถ้าขาดห้องชมรมอาสาพัฒนา ตึกกิจกรรมนักศึกษาที่เป็นสถานที่ปรึกษาหารือกันของคณะผู้จัดทำ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ หอสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ ที่เป็นแหล่งค้นคว้าหาข้อมูลจนสามารถจัดทำรายงานฉบับนี้ขึ้นมาได้อย่างสมบูรณ์

นิคม โททล้า
 นิลุบล นุ่มสกุล
 หทัยชนก เหล็กดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สีย้อม	3
2.1.1 คุณสมบัติของสีย้อม	3
2.1.2 สัญลักษณ์ของสี	4
2.1.3 การตั้งชื่อสี	5
2.1.4 การจำแนกสีย้อม	6
2.1.5 การย้อม	10
2.1.6 แหล่งกำเนิดและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	12
2.1.7 ประเภทสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย	13
2.1.8 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	14
2.2 การดูดซับ	14
2.2.1 ประเภทของการดูดซับ	14
2.2.2 กลไกการดูดซับ	16
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ(Factors affecting adsorptions)	17
2.2.4 การบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่อง(Continuous flow system)	18
2.3 พอลิไทริน(PS)	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.3.1 โฟมพอลิสไตรีน(Polystyrene Foam)	24
2.3.2 พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก(HIPS)	25
2.4 เศษด้ายไหม	25
2.4.1 α -เฮลิกส์	27
2.4.2 β -ชีท	28
2.4.3 β -เบนต์	28
2.5 แกลบ	31
2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของแกลบ	31
2.5.2 สัณฐานวิทยาของแกลบ	31
2.5.3 องค์ประกอบของแกลบ	31
2.6 ถ่าน(Charcoal)	35
2.7 มะพร้าว	37
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	42
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	42
3.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสีย้อม	42
3.4 การศึกษาความสามารถในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟของโฟมพอลิสไตรีน	42
3.5 การศึกษาความสามารถในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด	43
3.6 การศึกษาผลของอัตราการไหล(Flow rate)	43
3.7 การศึกษาผลของพีเอช	44
3.8 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	44
3.9 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุธรรมชาติ	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	45
4.1 ผลการศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟของโฟมพอลิสไตรีน	45
4.2 ผลการศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆ	46
4.3 ผลการศึกษาค่าอัตราการไหล(Flow rate) ที่เหมาะสม	48
4.4 ผลการศึกษาค่าพีเอช	51
4.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.6 ผลการศึกษาการบำบัดสีย้อมรีเอกทีฟของไหมและเกลบดำ	57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การหาความเข้มข้นของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	64
ภาคผนวก ข การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม	66
ภาคผนวก ค ข้อมูล MSDS ของสารเคมี	68
ภาคผนวก ง มาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับโรงงานฟอกย้อม	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก	25
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแกลบ	32
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของแซคคาไรด์และลิกนิน	33
ตารางที่ 2.4 ปริมาณเถ้าและปริมาณซิลิกาในส่วนต่างๆ ของพีชใบเลี้ยงเดี่ยว	35
ตารางที่ 4.1 ผลการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟของ โฟมพอลิสไตรีน	45
ตารางที่ 4.2 ผลการบำบัดสีย้อมด้วยวัสดุธรรมชาติ	47
ตารางที่ 4.3 ผลการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำที่อัตราการใช้ 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที	49
ตารางที่ 4.4 ผลการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำที่พีเอช 9 และ 11	52
ตารางที่ 4.5 ผลการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำที่ความเข้มข้นสีย้อม 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร	55
ตารางที่ 4.6 ผลการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำ	58
ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายสีย้อม Remazol Brilliant Blue R ($\lambda_{max} = 587$ นาโนเมตร)	65
ตารางที่ ค.1 มาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยงานต่างๆ	73

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สูตร โครงสร้างทางเคมีของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	10
รูปที่ 2.2 การดูดซับด้วยแรงทางกายภาพในลักษณะต่างๆ	15
รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการดูดซับในระยะต่างๆ	16
รูปที่ 2.4 ระบบ Continuous Flow Carbon System แบบต่างๆ	18
รูปที่ 2.5 Continuous Flow Carbon Fixed Bed System	19
รูปที่ 2.6 แสดง MTZ ที่เกิดขึ้นระหว่าง breakthrough curve	20
รูปที่ 2.7 แสดง breakthrough curve ของ dichloroethane และ petrochemicals	21
รูปที่ 2.8 ชุดทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ	22
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของพอลิสไตรีน	23
รูปที่ 2.10 การสังเคราะห์พอลิสไตรีนจากสไตรีน	24
รูปที่ 2.11 โครงสร้างแบบ α -เฮลิคัล	28
รูปที่ 2.12 โครงสร้าง β -ซีท ของพอลิเพปไทด์	29
รูปที่ 2.13 โครงสร้างแผ่นพอลิเบต้าแบบขนาน(ก) และแบบไม่ขนาน(ข)	30
รูปที่ 2.14 โครงสร้าง 3 มิติของไหม	30
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเซลลูโลส	32
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของน้ำตาลต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นเฮมิเซลลูโลส	34
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของลิกนิน	34
รูปที่ 2.18 ถ่านไม้และถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากการเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง	36
รูปที่ 4.1 ปริมาณสีย้อมที่เหลือจากการบำบัดด้วยโพลีพอลิสไตรีน	46
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยโพลีพอลิสไตรีน	46
รูปที่ 4.3 ปริมาณสีย้อมที่เหลือหลังการบำบัดด้วยวัสดุธรรมชาติ	47
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยวัสดุธรรมชาติ	48
รูปที่ 4.5 ปริมาณสีย้อมที่เหลือหลังการบำบัดด้วยไหมและแกลบดำ	50
รูปที่ 4.6 ปริมาณสีย้อมที่เหลือหลังการบำบัดด้วยไหมและแกลบดำ	50
รูปที่ 4.7 ปริมาณสีย้อมที่เหลือหลังบำบัดด้วยไหมและแกลบดำที่พีเอช 9 และ 11	53
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำที่พีเอช 9 และ 11	53
รูปที่ 4.9 ปริมาณสีย้อมที่เหลือหลังบำบัดด้วยไหมและแกลบดำที่ความเข้มข้นสีย้อม 100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยเกลบดำและไหมที่ความเข้มข้น 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร	56
รูปที่ 4.11 ปริมาณสีย้อมที่เหลือหลังการบำบัดด้วยไหมและเกลบดำ	59
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและเกลบดำ	59
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานสีย้อม Remazol Brilliant Blue R	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าประเภทสิ่งทอเป็นอันดับต้นๆของโลก ซึ่งเป็นผลมาจากการผลักดันของภาครัฐ ทำให้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมสิ่งทอมากขึ้น และหนึ่งในนั้นคือ อุตสาหกรรมการฟอกย้อม ทำให้มีโรงงานฟอกย้อมขนาดใหญ่เกิดขึ้นหลายแห่ง ส่งผลให้มีมูลค่าการส่งออกสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ก็มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นกันซึ่งน้ำทิ้งเหล่านี้มีการปนเปื้อนของสีและสารเคมีหลายชนิด

สีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นสีประเภทเอโซ(Azo Dyes) และสีแอนทราควิโนน(Anthraquinone Dyes) ซึ่งจะมีหมู่เอโซ(-N=N-) และ โครงสร้างแอนทราควิโนนเป็นโครงสร้างหลักในโมเลกุลตามลำดับ ซึ่งถ้ามีการปนเปื้อนของสีย้อมในแหล่งน้ำจะก่อให้เกิดอันตรายแก่พืชและสัตว์ในแหล่งน้ำนั้นๆ ลดความสามารถในการส่องผ่านของแสงลงไปแหล่งน้ำทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงในแหล่งน้ำลดลง รวมทั้งทำให้แหล่งน้ำมีทัศนียภาพที่ไม่น่ามองและไม่เหมาะในการนำไปอุปโภค ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมจากโรงงานอุตสาหกรรมการฟอกย้อมก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งซึ่งวิธีการที่ใช้ในการบำบัดมีอยู่หลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การใช้โอโซน การตกตะกอนด้วยสารเคมี และการใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด เป็นต้น

สำหรับโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งเป็นสีย้อมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกย้อม โดยใช้โฟมพอลิสไตรีนและวัสดุธรรมชาติได้แก่ แกลบ ถ่านไม้ ขุยมะพร้าวและไหมที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากเกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมมาใช้ในการบำบัดสีย้อม ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งช่วยลดวัสดุเหลือทิ้ง รวมทั้งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อวัสดุที่ใช้เป็นตัวดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ ที่มีราคาสูงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้โพลีฟอสไฟไตรีนและวัสดุธรรมชาติ ซึ่งทำการทดลองแบบไหลต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์(Column Test)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทดสอบการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ โดยใช้โพลีฟอสไฟไตรีน ซึ่งทำการทดลองแบบคอลัมน์ ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที
2. ทดสอบการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ โดยใช้วัสดุธรรมชาติได้แก่ แกลบดำ ถ่านกะลามะพร้าว ขุยมะพร้าวและไหม ซึ่งทำการทดลองแบบคอลัมน์ ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที
3. สภาวะที่ใช้ในการทดลองบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ ได้แก่ อัตราการไหล 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที พีเอช 9 และ 11 ความเข้มข้นสีย้อมเท่ากับ 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพของโพลีฟอสไฟไตรีนในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบคอลัมน์
2. ทราบถึงประสิทธิภาพของวัสดุธรรมชาติในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟแบบคอลัมน์
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สีย้อม [7]

สีย้อมเป็นสารที่ละลายน้ำได้ หรือสามารถทำให้ละลายน้ำได้ ดูดติดเส้นใยได้ การนำสีย้อมมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นกับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ โดยจะต้องทำให้เกิดสภาวะที่โมเลกุลของสีย้อมจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด(Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ(Bond) ยึดติดกันแน่น อิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใย คือ

- ก. พันธะไฮโดรเจน(Hydrogen bond)
- ข. แรงแรงแวนเดอร์วาลส์(Van der Waal's forces)
- ค. แรงไอออนิก(Ionic forces)
- ง. พันธะโควาเลนต์(Covalent bond)

การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของเส้นใยจะต้องประกอบด้วยแรงตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกันไป แต่แรงดึงดูดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุดได้แก่ พันธะโควาเลนต์(Covalent bond) อิทธิพลของรูปร่างและขนาด โมเลกุลของสีก็มีผลต่อการยึดติด หรือมีผลกระทบต่อการใช้เป็นอย่างมาก เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้นซึ่งทำให้การติดสีดีขึ้น หรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบนและมีความกว้างความยาวมากๆจะทำให้เกิดการติดสีที่มีความคงทนสูงมากขึ้น

2.1.1 คุณสมบัติของสีย้อม

ในสีย้อมแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปในสภาพสารละลายหรือสารแขวนลอย เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ การรวมตัวในสารละลาย การย่อยสลายในระหว่างการย้อมสี อัตราการเกิดปฏิกิริยา การให้และการรับอิเล็กตรอน สำหรับโครงสร้างทางเคมีของสีแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติของสีดังนี้

1. ความเหมาะสมต่อเส้นใยชนิดหนึ่งๆจะขึ้นอยู่กับอนุภาคของสีย้อมและเส้นใย
2. ความสามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับเส้นใยหนึ่งๆ
3. จลนพลศาสตร์ของสีย้อม
4. คุณสมบัติการเคลื่อนตัวและความสม่ำเสมอของสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความทนต่อแสง
6. ความทนต่อความชื้น
7. ความทนต่อความร้อน และอื่นๆ

การเลือกสีย่อมต้องเลือกตามชนิดของวัตถุที่จะย้อม มีความคงทนพอที่สามารถย้อมออกมาได้เหมือนสีตามตัวอย่าง และมีราคาถูกต้องตามต้องการ สีย้อมที่ผลิตขึ้นมาในท้องตลาดมีจำนวนมาก และมักมีสีสันทันใกล้เคียงกันยากต่อการจดจำ เช่น สีฟ้าอาจจะมีสีฟ้าอ่อนไปทางแดงหรือฟ้าอ่อนไปทางเหลือง ดังนั้นจะต้องมีสัญลักษณ์ของสีเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

2.1.2 สัญลักษณ์ของสี

2.1.2.1 สัญลักษณ์บอกสี

บี(B)	ออกสีน้ำเงิน
จี(G)	ออกสีเขียวหรือเหลือง
เจ(J)	ออกสีเหลือง
เอ็ม(M)	ออกสีแดงคล้ำ
อาร์(R)	ออกสีแดง
วี(V)	ออกสีม่วง
วาย(Y)	ออกสีเหลือง

2.1.2.2 สัญลักษณ์บอกความเข้มขึ้นของสี

เอ(A)	เข้มขึ้นมาก
อี(E)	เข้มขึ้นมากที่สุด(Excellent)
โอ(O)	เข้มขึ้นมาก
เอกซ์(X)	เข้มขึ้นเป็นพิเศษ(Extra)
เค(K)	เข้มขึ้น(Konz)

2.1.2.3 สัญลักษณ์บอกธรรมชาติของสี

ซี(C=Chlorine)	ทนต่อสารคลอรีน(ฟอกขาวด้วยไฮโปคลอไรต์ได้)บางครั้งใช้สัญลักษณ์ Cl ซึ่งมีความหมายเช่นเดียวกัน
ดี(D=Discharge)	สามารถลอกสีออกได้ดี
ดี(Disperse)	สีชนิดกระจายตัวได้

เอฟ(F=Fast) ความคงทนดี สีไม่ตก (สัญลักษณ์ตัวนี้จะระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ก่อนอย่างอื่น)
เอฟ(F=Fine)	ให้สีสด ไม่มีสิ่งอื่นปน (ระบุเป็นตัวสุดท้าย)
เอช(H=Half Wool)	ใช้กับผ้าขนสัตว์ปั่นฝ้ายหรือปนเรยอนได้
เค(K=Kait)	ใช้ย้อมเย็นได้
แอล(L=Light)	ทนแสงได้ดี
เอ็น(N=Neutral)	อาจย้อมในน้ำย้อมที่เป็นกลางได้
พี(P=Perion)	เหมาะสำหรับใช้ย้อมในลอน
เอส(S=Soluble)	ละลายน้ำได้ดี
เอส(S=Silk)	เหมาะสำหรับใช้ย้อมไหม
ที(T=Tannin)	เหมาะสำหรับพิมพ์ลอกสีด้วยแทนนิน
ยู(U=Ultra)	กระจายตัวได้ดีเป็นพิเศษ
ดับเบิลยู(W=Washing)	ทนต่อการซักได้ดี
ดับเบิลยู(W=Wool)	สีไครเรทท์เหมาะสำหรับย้อมขนสัตว์
2.1.2.4 สัญลักษณ์บอกคุณภาพ	
ซีพี(CP=Chemical pure)	มีความบริสุทธิ์สูง
เอฟแซด(FZ=Free from zinc)	ไม่มีสังกะสีปน
แซดเอฟ(ZF=Zinc free)	ปราศจากสังกะสี

2.1.3 การตั้งชื่อสี

สมาคมผู้ประกอบการย้อมในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ(American Association of Textile Chemists and Colorists และ Society of Dyes and Colorists) ได้ร่วมกันจัดทำทะเบียนรายชื่อสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดขึ้นเรียกว่า Colour Index โดยตั้งชื่อให้กับสีแต่ละตัวเรียกว่า CI Generic Name โดยมีองค์ประกอบดังนี้

CI + ชื่อประเภทของสี + เฉดสี + หมายเลขลำดับ

โดยที่ประเภทของสีแบ่งออกเป็น 17 ประเภทคือ Acid, Azoic, Direct, Disperse, Fluorescent, Briteners, Food, Ingrain, Leather, Mordant, Oxidation, Pigment, Reactive, Solvent, Sulphur, และ Vat ส่วนเฉดสีจะแบ่งออกเป็น 8 เฉดสีคือ Yellow, Orange, Red, Violet, Blue, Green, Brown และ Black ตัวอย่างการเรียกชื่อสีเช่น CI Acid Yellow 1 หมายถึง สีแอซิดสีเหลืองหมายเลขหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมสามารถจำแนกออกได้หลายแบบ เช่น จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ จำแนกตามลักษณะการใช้งาน และจำแนกตามวิธีการย้อม

2.1.4.1 จำแนกตามโครงสร้างทางเคมี

1. สีย้อมเอโซ(Azo Dyes) คือสีย้อมที่มีหมู่เอโซ(-N=N-) อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล สีย้อมกลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่และมีความสำคัญมากที่สุด โดยครอบคลุมถึงร้อยละ 50 ของสีย้อมที่ใช้ทั้งหมด คุณสมบัติที่สำคัญของสีย้อมในกลุ่มนี้คือ มีสีให้เลือกครบทุกโทนสี แต่โดยทั่วไปจะมีความสำคัญโดยเฉพาะในช่วงของสีเหลือง แสด แดง น้ำตาล และดำ มีกรรมวิธีการสังเคราะห์ค่อนข้างง่าย มีความสว่างสดใสและความคงทนต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงดี และมีราคาไม่แพง

2. สีย้อมแอนทราควิโนน(Anthraquinone Dyes) เป็นสีย้อมที่มีโครงสร้างของแอนทราควิโนนเป็นโครงสร้างหลักอยู่ในโมเลกุล และส่วนใหญ่จะสังเคราะห์ได้โดยอาศัยแอนทราควิโนนเป็นสารตั้งต้น สีย้อมกลุ่มนี้มีความสำคัญเป็นอันดับสองรองจากเอโซ โดยครอบคลุมประมาณร้อยละ 25 ของสีย้อมทั้งหมด สีที่มีความสำคัญคือ สีม่วง ฟ้า เขียว และสีแดง เป็นสีที่มีความสว่างสดใส และมีความคงทนต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ความเข้มข้นของสีจะน้อยกว่าเอโซและเป็นสีที่มีราคาแพงอีกด้วย

3. สีย้อมซัลเฟอร์(Sulphur Dyes) เป็นสีย้อมที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล สีย้อมกลุ่มนี้เป็นสีย้อมที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดในบรรดาสีย้อมทั้งหมด เนื่องจากเป็นสีที่มีราคาถูก นิยมใช้ย้อมสีที่บๆที่ต้องการความเข้มสูง เช่น สีดำ น้ำตาล และน้ำเงิน สีย้อมกลุ่มนี้มีให้เลือกไม่มากนัก ส่วนมากจะเป็นสีที่บไม่สดใส

4. สีย้อมอินดิโกอยด์(Indigoid Dyes) เป็นสีที่มีโครงสร้างของอินดิโกติน ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของอินดิโกอยู่ในโมเลกุล

2.1.4.2 จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี

1. สีย้อมฝ้าย ได้แก่ สีไคเรคท์ สีรีแอกทีฟ สีแวต สีซัลเฟอร์
2. สีย้อมโพลีเอสเตอร์ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส
3. สีย้อมไนลอน ไหม และขนแกะ ได้แก่ สีแอตติค สีเมทัลคอมเพล็กซ์
4. สีย้อมอะคริลิก ได้แก่ สีเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. สีชนิดที่ละลายน้ำได้

- สีแอสิด
- สีเบสิก
- สีไคเรกซ์
- สีรีแอกทีฟ

2. สีชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้

- สีเอโซ
- สีดีสเพอร์ส
- สีแวต
- สีพิกเมนต์
- สีซัลเฟอร์
- สีเมทัลคอมเพล็กซ์

2.1.4.4 จำแนกตามลักษณะการใช้งาน

1. สีไคเรกซ์ สีย้อมไคเรกซ์บางครั้งเรียกว่า สีย้อมฝ้าย ชื่อของสีชนิดนี้ได้มาจากการที่สีย้อมชนิดนี้เป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรกที่สามารถย้อมด้ายฝ้ายโดยซึมเข้าไปภายในเซลล์ลูโลสได้โดยตรง ไม่ต้องเติมสารช่วยย้อมใดๆทั้งสิ้น แต่ในปัจจุบันการย้อมด้วยสีไคเรกซ์นี้จะใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้สูงขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีกรดซัลโฟนิกซึ่งทำให้ตัวสีละลายน้ำได้

2. สีรีแอกทีฟ เป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ดีที่สุด สามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกไซด์ในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์กลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่กับเซลลูโลส คุณสมบัติการละลายและการดูดติดเส้นใยของตัวสีจะทำให้สีเข้าไปอยู่ภายในของเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาตัวสีก็จะติดกับเส้นใย

3. สีแวต นิยมใช้ย้อมกับเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำจึงต้องใช้ตัวรับอิเล็กตรอนที่เหมาะสมมาทำให้ละลาย สารที่รับอิเล็กตรอนที่นิยมใช้กันทั่วไปได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ หลังจากนั้นจะสูญเสียอิเล็กตรอนกลับเป็นตัวสีย้อมแวตที่ไม่ละลายน้ำดังเดิมทำให้เกิดการติดทนอย่างถาวรกับเส้นใยได้ดี โครงสร้างของสีประเภทนี้แตกต่างกันมากสารประกอบเชิงซ้อนของสีทุกตัวจะต้องมีหมู่คาร์บอนิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่รวมอยู่ด้วยเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งาน ซึ่งเอกสารนี้จะรวมทั้งฉบับไปจนฉบับที่ส่งไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สีสัลเฟอร์ เตรียมได้จากการหลอมละลายกำมะถันหรือโซเดียมซัลไฟด์กับกรดอะมิโนและสารประกอบไนโตรเจน ใช้ในการข้อมยฝ้ายโดยเฉพาะ สีที่ย้อมได้จะไม่ค่อยสดใส ตามปกติแล้วตัวสีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่ โดยนำสีย้อมไปทำการรีดิวซ์ ทำให้สีชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ดี สีย้อมชนิดนี้ข้อมง่ายมีราคาถูก และมีความคงทนต่อน้ำได้ดี

5. สีคิสเพอร์ส สีชนิดนี้ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ข้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด ที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีชนิดนี้ไม่ละลายน้ำแต่เป็นละอองละเอียดละลายอยู่ในน้ำ เมื่อมีสารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสมจะสามารถใช้ข้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอย่างอื่นช่วย

สีคิสเพอร์สอาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีข้อม ได้แก่ สีข้อมเอโซและสีข้อมแอนทราควิโนน

6. สีแอสิค สีกลุ่มนี้นิยมใช้ข้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำข้อมซึ่งมีสภาพเป็นกรดเจือจาง อาจจะไปใช้ข้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ด้วย เช่น ปอ ป่าน และเส้นใยพอลิเอไมด์ เป็นต้น ตัวสีข้อมเกิดจากเกลือโซเดียมของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน มีโครงสร้างเป็นไอออนลบในส่วนประกอบที่ให้สี กลุ่มเคมีของสารประกอบนี้ประกอบด้วยกลุ่มสีเอโซ(ประเภทไตรเอริลเมธและแอนทราควิโนน) สีแอสิคดูดความชื้นจากอากาศได้ง่าย การเก็บรักษาจึงต้องระมัดระวังเป็นอย่างดี ถ้าสีดูดความชื้นเข้าไปจะทำให้เสื่อมสภาพเร็ว

7. สีเบสิค นิยมใช้ข้อมขนสัตว์และสามารถใช้ข้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดรวมทั้งเส้นใยอะคริลิกได้ แต่ข้อมเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ติดเลย ตัวสีข้อมเป็นเกลือเบสอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ให้ไอออนบวกบางครั้งจะเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า สีแคทไอออนิก ข้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุลของสีข้อมจะจับกับประจุลบของเส้นใย เส้นใยประเภทนี้มีความคงทนต่ำ นิยมใช้กันในประเทศแถบตะวันออก ที่นิยมความสดใสของสีมากกว่าความคงทน

8. สีมอร์แดนท์หรือสีโครม เป็นสีที่นิยมใช้ข้อมเส้นใยโปรตีน ตัวสีข้อมนี้จะอยู่ในกลุ่มสีข้อมแอสิคที่สามารถก่อรูปเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนทที่ถาวรขึ้นกับโลหะบางชนิดได้ เช่น โครเมียม อลูมิเนียม เป็นต้น สารโคออร์ดิเนทใหม่นี้จะดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าจึงทำให้มีความคงทนต่อแสงและน้ำได้เพิ่มขึ้น สีประเภทนี้ใช้เป็นสีแอสิคไม่ได้เพราะว่าถ้ายังไม่ให้ตัวสีทำปฏิกิริยากับโครเมียมสีจะไม่คงทนต่อต่าง

9. สีข้อมอะโซอิก สีข้อมกลุ่มนี้นิยมใช้ข้อมกับเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น ตัวสีข้อมชนิดนี้เป็นสารประกอบเอโซเท่านั้น แต่เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สีย้อมโลหะ เป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสและให้สีต่างๆกัน เมื่อย้อมแล้วต้องทำให้สารนี้ตกตะกอนภายในเส้นใยด้วย

2.1.4.5 จำแนกตามวิธีการย้อม

1. การย้อมโดยตรง กำล้างยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยและตัวสีมีมาก การย้อมโดยตรงในน้ำซึ่งประกอบด้วยตัวสีและสารช่วยย้อมที่เหมาะสม ภาวะน้ำย้อมที่จำแนกออกตามชนิดของสารช่วยย้อมออกเป็น 3 ชนิดคือ เป็นกรด เป็นด่าง และเป็นกลาง สีในกลุ่มนี้ได้แก่ สีย้อมไคโรเรทท์ สีแอตติก สีเบสติก สีดิสเพอร์ส สีแอซิเตท ฯลฯ

2. การย้อมด้วยสารช่วยติดสี กำล้างยึดระหว่างเส้นใยและตัวสีมีน้อย การนำไปย้อมด้วยสารเคมีก่อนจะช่วยให้เส้นใยและสีรวมตัวยึดกันได้ดีขึ้น ดังนั้นเวลาย้อมด้วยสารเคมีให้เป็นตัวกลางเชื่อมก่อน สีในกลุ่มนี้ได้แก่ สีเบสติก สีโครมที่เป็นกรด สีมอร์แดนท์

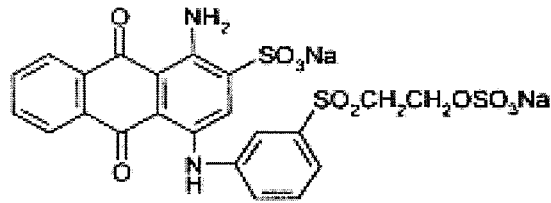
3. การย้อมแบบต้องลดขนาดของตัวสีก่อน ตัวสีที่ไม่ละลายน้ำจะรวมตัวอยู่กับเส้นใยไม่ได้ เวลาย้อมต้องลดขนาด โมเลกุลของสีให้เล็กลงมากที่สุดก่อน(ละลาย) ตัวสีจะซึมเข้าไปภายในเส้นใยเวลาย้อมแล้วออกซิไดซ์คั้นเป็นสีตัวเดิมที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ สีซัลเฟอร์

4. การย้อมโดยวิธีออกซิไดซ์ ต้องย้อมเส้นใยด้วยสารออกซิไดซ์ก่อนเพื่อให้สารนั้นทำปฏิกิริยาออกซิเดชันตัวสีกับเส้นใยให้เกิดเป็นสี สีในกลุ่มนี้ได้แก่ สีออกซิเดชัน สีแวตที่ละลายน้ำได้

5. การย้อมโดยการทำให้เกิดสี ส่วนประกอบของสีแต่ละชนิดแยกกันย้อมทีละครั้ง การทำการตกแต่งภายหลังให้เกิดเป็นสีไม่ใช่เพียงแต่เฉพาะเจาะจงกับสีแนฟтолเท่านั้นแต่ใช้กับสีย้อมโดยตรงก็ได้ สีแนฟтолและสีอะซิเตทที่ต้องย้อมทับล้วนรวมอยู่ในกลุ่มนี้

6. การย้อมที่ต้องทำให้สติด สารที่ใช้เป็นตัวสีจะติดกับเส้นใยเองไม่ได้ ต้องทำให้ติดโดยการย้อมทับหรือตกแต่งภายหลังย้อมใช้สารเคมีช่วยได้แก่ พิกเมนต์ชนิดต่างๆ

สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้สีย้อมรีเอกทีฟสีน้ำเงิน(Remazol Brilliant Blue R) จากบริษัท ไคสตาร์ไทย จำกัด ซึ่งสูตรโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R (Crini, 2003)

2.1.5 การย้อม

2.1.5.1 หลักการย้อมผ้า

กรรมวิธีในการย้อมผ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การย้อมผ้าในหม้อต้มแบบครั้งคราวและการย้อมผ้าแบบต่อเนื่องในเครื่องย้อม การย้อมแบบครั้งคราวนั้นให้น้ำเสียปริมาณน้อย แต่ความเข้มข้นของสิ่งสกปรกสูง ส่วนการย้อมแบบต่อเนื่องจะให้ผลตรงกันข้าม เนื่องจากกรรมวิธีในการย้อมผ้าแต่ละแบบมีความแตกต่างกันทางด้านตัวสีย้อม สารช่วยย้อม และความสามารถติดสีบนเนื้อผ้า เป็นต้น จึงทำให้ปริมาณสารมลพิษที่ติดมากับน้ำย้อมแตกต่างกัน การย้อมที่มีประสิทธิภาพนั้นก็คือการย้อมให้ผ้ามีสีที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งผืนผ้าและด้าย สีย้อมต้องติดเส้นใยเข้าไปถึงภายในและต้องทนต่อการซักล้างไม่หลุดออกได้ง่าย การย้อมโดยทั่วไปจะนำสีย้อมมาทำให้อยู่ในรูปสารละลายหรือสารแขวนลอย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำมาย้อมเส้นใยที่ต้องการ ตามด้วยกระบวนการทำให้สีย้อมติดกับเส้นใยเพื่อให้เกิดความคงทนต่อการซักล้างด้วยน้ำยาต่างๆการย้อมสีโดยทั่วไปสามารถทำได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

1. การทำให้เกิดการแพร่กระจายหรือซึมผ่านบนพื้นผิวของเส้นใย
2. การดูดซึมสีย้อมของเส้นใย
3. การซึมผ่านของโมเลกุลสีย้อมผ่านชั้นกั้นทางจุลศาสตร์เข้าไปสู่ภายในเส้นใย
4. การดูดซับ
5. การถ่ายสีด้วยแรงเชิงกลโดยการอัด
6. การกักเก็บเชิงกล
7. ปฏิกิริยาเคมีบนเส้นใย
8. การสร้างพันธะทางเคมีกับอนุภาคของเส้นใย
9. การละลายในเส้นใย เช่น การละลายของสีย้อมชนิดคิสเพอร์สที่เป็นของแข็ง

ในเส้นใยพอลิเอสเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วขั้นตอนที่สีย้อมซึมผ่านเส้นใยจะเป็นขั้นตอนที่ช้าและมีผลต่ออัตราการย้อมสีมากที่สุด ความเข้าใจในหลักการต่างๆ เหล่านี้จะเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติของตัวย้อมสีซึ่งจะใช้เป็นหลักเกณฑ์สำคัญในการเลือกชนิดของสีย้อม โดยเฉพาะการผสมสี 3 สี เครื่องย้อมผ้ารุ่นใหม่ที่มีระบบควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถควบคุมตัวแปรในการย้อมผ้าต่างๆ ได้ดี เช่น ปริมาณการใช้สีย้อมและสารเคมีต่างๆ

2.1.5.2 สารช่วยย้อม

สารช่วยย้อมคือ สารที่ใส่ลงไปในการบวนการย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดติดสีได้มากขึ้น ทำให้เส้นใยมีความคงทนสม่ำเสมอ ประเภทของสารช่วยย้อมแบ่งออกได้ดังนี้

1. กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอนเมื่อใช้สีย้อมแอสิค
2. ด่าง ใช้สำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมอะโซอิก แวต กำมะถัน
3. เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีย้อมแอสิค และการย้อมเส้นใยเซลลูโลส
4. สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวต
5. สารนำ เมื่อใช้ย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
6. สารละลายอินทรีย์ ใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
7. สารรีบอเล็กตรอน ใช้สำหรับรีบอเล็กตรอนจากสีบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

2.1.5.3 น้ำย้อม / พื้นผิวที่สัมผัส

ลักษณะและอัตราการหมุนเวียนของของเหลว เช่น ในเครื่องเจ็ต เครื่องบีม หรือ แพคเกจ จะทำหน้าที่ควบคุมความสม่ำเสมอของสีที่ย้อมให้คงที่

2.1.5.4 วิธีการต่างๆ และเทคนิคในการย้อมสี

มีวิธีการและเทคนิคหลายอย่างที่ทำให้สีย้อมติดแน่นบนเส้นใยอย่างถาวร ซึ่งแต่ละวิธีจะมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง

2.1.5.5 อัตราส่วนของของเหลว

อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ในขณะย้อมสีจะมีผลอย่างมากต่อการใช้สีทุกชนิด อัตราส่วนของของเหลวถูกกำหนดโดยชนิดของเครื่องที่ใช้ การใช้อัตราส่วนของของเหลวในอัตราต่ำจะทำให้ปริมาณการใช้สีย้อมรีแอกทีฟเป็นไปอย่างประหยัดซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสใน Dye bath เช่น ในการย้อมสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายมักนิยมใช้เครื่องย้อมแบบแพคเกจ การย้อมด้วยเครื่องจิกเกอร์ จะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการย้อมด้วยเครื่องวินซ์ และการย้อมสีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ วิธีการ Pad-roll หรือ Pad-batch ซึ่งจะใช้อัตราส่วนของของเหลวในการย้อมเป็น 1:1 ในปัจจุบันเทคนิคการย้อมสีรีแอกทีฟในอัตราส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวที่ดำหรือดำมากๆ โดยเครื่อง Jet dyeing ได้ถูกพิจารณาแล้วว่าเป็นวิธีการที่ดีในแง่เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

สำหรับผ้าฝ้ายส่วนใหญ่แล้วจะย้อมด้วยสีไดเรกต์และสีรีแอกทีฟ ส่วนระบบการย้อมก็ได้มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่หลายอย่าง เช่น ระบบการย้อมที่ใช้ปริมาณเกลือต่ำ อัตราส่วนของน้ำและวัสดุต่ำ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการผลิตสีย้อมใหม่ๆขึ้นมา ทำให้อุตสาหกรรมฟอกย้อมสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความคงทนสูง สิ้นทุนการผลิตต่ำและยังช่วยลดปริมาณน้ำทิ้งที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมด้วย

2.1.6 แหล่งกำเนิดและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

2.1.6.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

2.1.6.1.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมผ้า

1. กระบวนการต้มแป้ง เป็นการกำจัดแป้งที่ติดมากับกระบวนการทอออก การต้มแป้งเป็นการทำให้แป้งสลายตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้
2. กระบวนการทำความสะอาด เป็นการเอาสิ่งสกปรกที่ติดมากับเส้นใยออกก่อนที่จะนำไปทอเป็นผืนผ้า
3. กระบวนการฟอกขาว เป็นการกำจัดสีธรรมชาติของเส้นใยออกโดยใช้สารเคมีคือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ กระบวนการนี้จะทำก่อนการย้อมเพื่อให้สีติดยั้งจั้นและสีไม่เปลี่ยน
4. กระบวนการชุบน้ำมันเป็นการทำเพื่อให้ผ้าเพิ่มความมันและดูดีดสีได้มากขึ้น
5. กระบวนการย้อมสีและการตกแต่งพิเศษ
6. กระบวนการพิมพ์ผ้า

2.1.6.1.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำจะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรงจะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อมและถูกรวมเป็นน้ำเสีย

2.1.6.1.3 น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.1.6.1.4 น้ำที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.2 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่มาจากโรงงานต่างๆจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยที่นำมา ย้อม และการใช้กระบวนการย้อมที่แตกต่างกัน ลักษณะน้ำเสียที่มาจากโรงงานฟอกย้อมจะมี ลักษณะดังนี้

1. ปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากมีค่า BOD และ COD สูง ปริมาณสารอินทรีย์ที่ ได้จากกระบวนการฟอกย้อมได้แก่ แป้ง สีย้อม เส้นใย และด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อม และตกแต่ง ไขมัน และตัวทำละลายต่างๆ เป็นต้น
2. มีความเป็นด่างสูง สารที่ทำให้น้ำมีลักษณะเป็นด่างคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โซเดียมคาร์บอเนต
3. มีอุณหภูมิสูง
4. มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมาจากเกลือ โซเดียม และกรดต่างๆ
5. มีสีเข้มมาก ซึ่งมาจากสีที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้า
6. มีโลหะหนักเจือปน โลหะหนักนี้มาจากสีที่ใช้ย้อมผ้า โดยส่วนใหญ่จะเป็น โลหะพวกทองแดง โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี
7. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

2.1.7 ประเภทสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำที่จากโรงงานฟอกย้อมจำแนกออกได้ดังนี้

1. สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วน ที่เหลือจะ ยังคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อม จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทที่ใช้
2. สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้จะสืออยู่มากมายหลาย ประเภทซึ่งส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสีย
3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใยมีทั้งที่เป็นสารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจน สารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยังมีการเติมสารเคมีต่างๆลงในเส้นใย ด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น
4. เศษเส้นใย ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบอันหนึ่งที่จะ หลีกเลียงไม่ได้คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดการอุดตันในเครื่องย้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมยังอาจมีสิ่งสกปรกเจือปนชนิดอื่นอีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการขจัดรอยเปื้อนบนผ้า สารเคมีที่ใช้ในล้างเครื่อง เป็นต้น

2.1.8 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

โดยทั่วไปมลภาวะที่เกิดจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

1. ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากน้ำย้อมผ้ามักมีสารที่มีพิษ เช่น สารประกอบแอนิลีน ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำและจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา

2. การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารประกอบของสีย้อมบางประเภท

3. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดความรู้สึกรังเกียจต่อผู้ที่พบเห็น ทำให้ลำน้ำไม่น่าดู นอกจากนี้สีย้อมที่มีปริมาณความเข้มข้นที่สูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

2.2 การดูดซับ [6-7, 11, 17-19]

การดูดซับคือกระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลของสารหนึ่งยึดติดอยู่กับผิวของอีกสารหนึ่ง สารที่ไปยึดติดเกาะอยู่ที่ผิวหน้าเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ(Adsorbate) ส่วนสารที่ตัวถูกซับไปเกาะเรียกว่า ตัวดูดซับ(Adsorbent) ปริมาณการดูดซับจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ พื้นผิวและขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจในกระบวนการแยกสารหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น

2.2.1 ประเภทของการดูดซับ

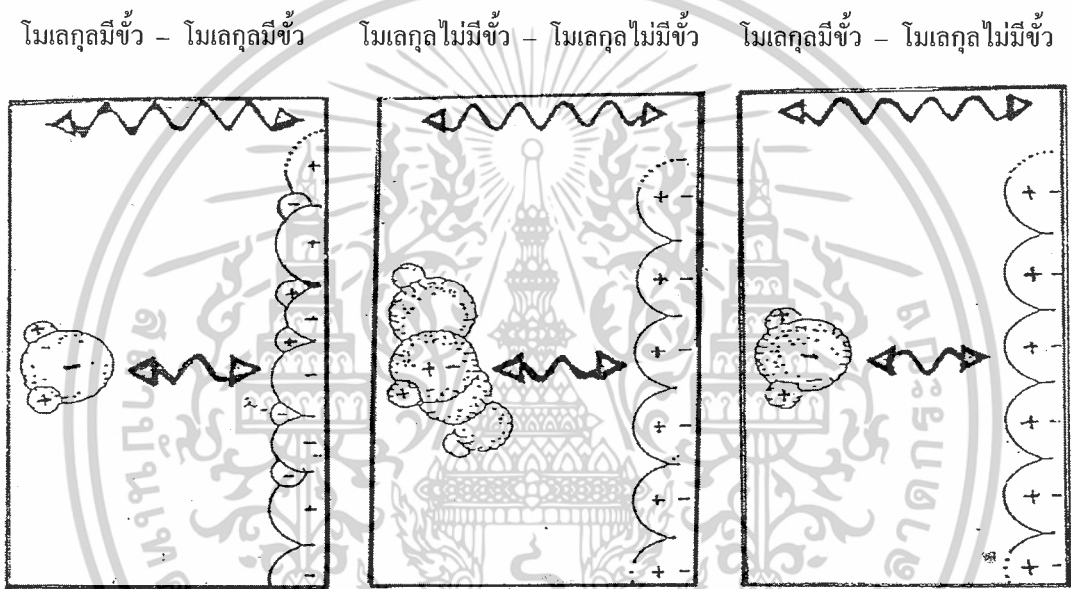
การดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลคือ การดูดซับทางกายภาพ(Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี(Chemical adsorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 การดูดซับทางกายภาพ(Physical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้แรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับผิวหน้าของโมเลกุลตัวดูดซับจะเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์(Van der Waals forces) แรงไดโพล-ไดโพล(dipole-dipole forces) เป็นต้น โดยที่โมเลกุลที่ถูกดูดซับจะมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนเดิม

ลักษณะการเกาะจับด้วยแรงทางกายภาพเกิดจากผล 3 อย่างดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การดูดซับด้วยแรงทางกายภาพในลักษณะต่างๆ (ราตรี, 2543)

1. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลที่มีขั้วทั้งคู่
2. เกิดจากหลักการที่ว่าโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มายู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอ่อนๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วทั้งคู่
3. เกิดจาก โมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลที่มีขั้วและ โมเลกุลของตัวดูดซับเป็น โมเลกุลไม่มีขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 การดูดซับทางเคมี(Chemical adsorption)

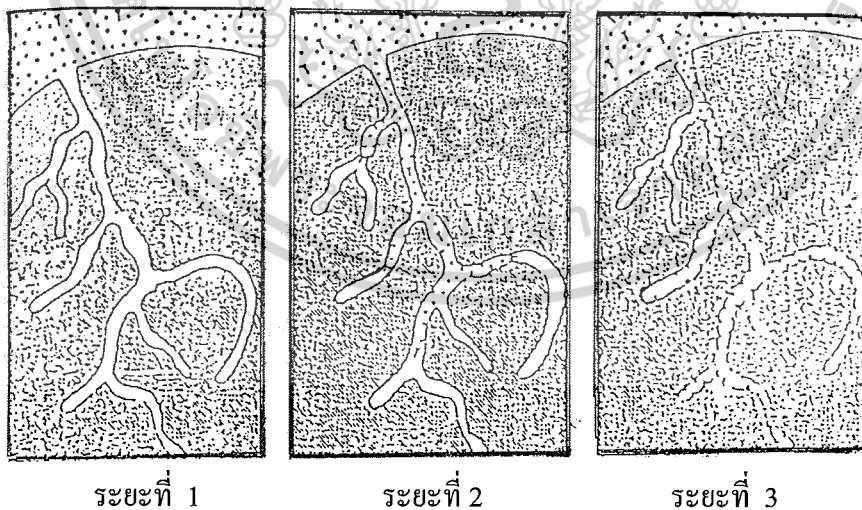
การดูดซับแบบนี้จะเกี่ยวข้องกับแรงหรือพันธะทางเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยา การเกาะของตัวถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับจะเหมือนแรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวกันระหว่างอะตอมภายในโมเลกุล การดูดซับทางเคมีบางครั้งต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี คือ

1. การดูดซับทางกายภาพไม่มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกัน สามารถผันกลับได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิเดียวกัน แต่การดูดซับทางเคมีจะผันกลับไม่ได้
2. การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่วยุไปบนพื้นผิวตัวดูดซับไม่มีบริเวณจำเพาะ ในการเกิดกระบวนการดูดซับภายใต้สภาวะความดันและมีอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณที่มีความจำเพาะเท่านั้น และโดยทั่วไปการดูดซับทางเคมีจะเกิดแบบชั้นเดียวเท่านั้น
3. ความร้อนที่ได้จากการดูดซับทางกายภาพจะน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี

2.2.2 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะดังแสดงในรูปที่ 2.3



ระยะที่ 1

ระยะที่ 2

ระยะที่ 3

รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการดูดซับในระยะต่างๆ (ราตรี, 2543)

ระยะที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 3 เกิดการดูดติดผิวในรูพรุนระหว่างตัวดูดซับและพื้นผิวตัวดูดซับซึ่ง อาจเกิดการดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมี หรือทั้งสอง ชนิดพร้อมกัน

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Factors affecting adsorptions)

2.2.3.1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ (Nature of the adsorbent)

1. พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน (Surface area and pore structure) พื้นที่ผิว เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง

2. ขนาดของตัวดูดซับ (Adsorbent size) ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน ขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ

2.2.3.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ (Nature of the adsorbate)

1. ความสามารถในการละลาย เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากรูพรุนและไปเกาะติดผิวของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออน) ได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการถูกดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมักจะสามารถเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ดี อย่งไรก็ตามค่ากล่าวข้างต้นไม่เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก

2. น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่น สารอินทรีย์ถ้าจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้นการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เพราะการละลายน้ำลดลง

3. ความมีขั้วของโมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อการมีสภาพขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มสภาพขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

2.2.3.3 ผลของอุณหภูมิ (Effect of Temperature)

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่อง(Continuous flow system)

เป็นการบำบัดโดยให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นของตัวดูดซับที่บรรจุไว้ในคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ระหว่างเดินระบบ โดย

Fixed –Bed System

ระหว่างป้อนน้ำเสียเข้าระบบ ชั้นของตัวดูดซับไม่เคลื่อนที่ ซึ่งสามารถเดินระบบได้หลายแบบ คือ

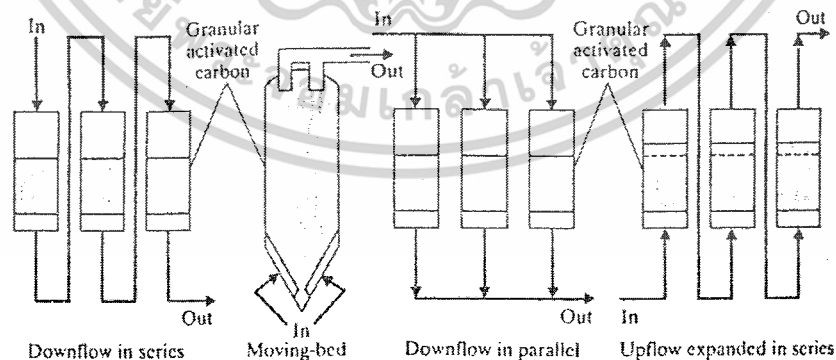
- Fixed – Bed single column
- Fixed – Bed downflow in series
- Fixed – Bed downflow in parallel

Moving Bed System

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

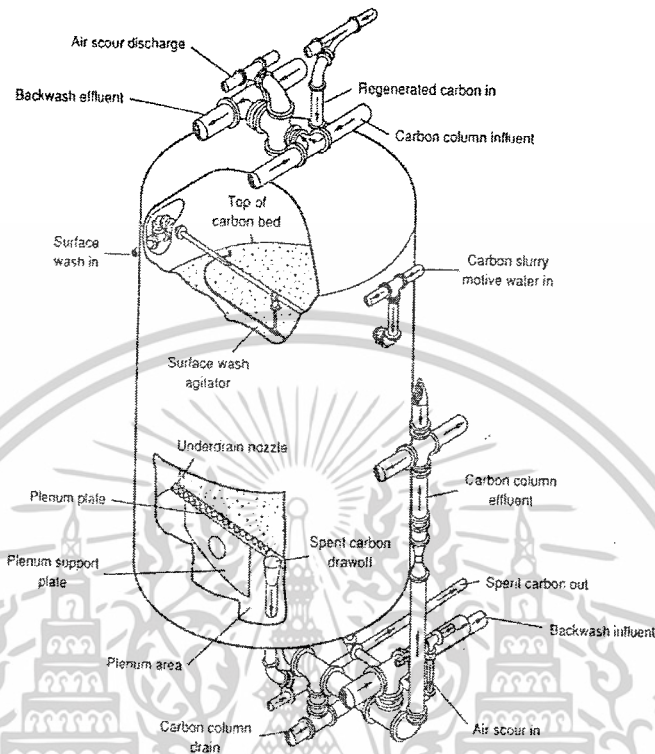
- Expanded bed single column
- Upflow expanded bed in series
- Moving bed system

ตัวอย่างระบบแบบ GAC column แสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 ระบบ Continuous Flow Carbon System แบบต่างๆ (Metcalf & Eddy, 2003)

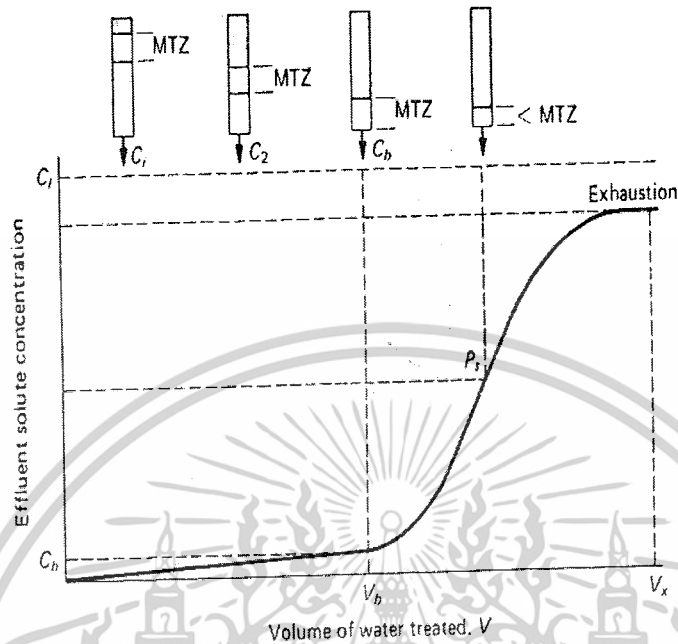
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 Continuous Flow Carbon Fixed Bed System (Metcalf & Eddy, 2003)

การดูดซับสารของตัวดูดซับในระบบบำบัดแบบต่อเนื่องแตกต่างจากการบำบัดแบบครั้ง เนื่องจากไม่มีสภาวะคงที่(steady state) เกิดขึ้นเมื่อผ่านน้ำเสียเข้าไปในคอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับ บริเวณบนสุดของ GAC bed เริ่มทำการดูดซับสารที่เจือปนในน้ำเสีย เมื่อน้ำเสียเคลื่อนที่ผ่านชั้นของตัวดูดซับลงไป ความเข้มข้นของสารเจือปนจะลดลงเรื่อยๆ จนเข้าสู่สมดุล ความเข้มข้นของสารเจือปนจะไม่ลดลงอีกและเคลื่อนที่ผ่านชั้นของตัวดูดซับออกมา บริเวณชั้นของตัวดูดซับที่มีการดูดซับเกิดขึ้นเรียกว่า Mass Transfer zone (MTZ) เมื่อผ่านน้ำเสียต่อไป บริเวณชั้นบนสุดของตัวดูดซับซึ่งดูดซับสารเจือปนมากขึ้นเรื่อยๆ จะอึดตัวไม่สามารถดูดซับสารเพิ่มขึ้นได้อีก MTZ จะเลื่อนลงมาเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



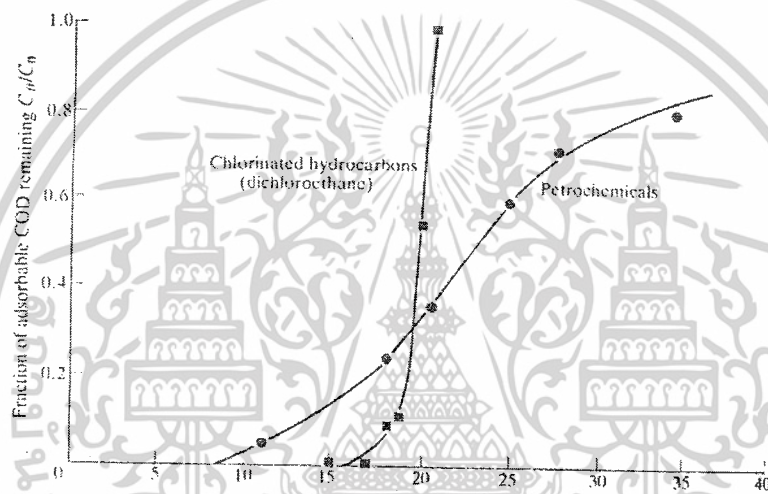
รูปที่ 2.6 แสดง MTZ ที่เกิดขึ้นระหว่าง breakthrough curve (Metcalf & Eddy, 1991)

จากรูปที่ 2.6 เมื่อผ่านน้ำเสียที่มีความเข้มข้น C_1 ตัวถูกละลายจะถูกดูดซับที่บริเวณชั้นบนของคอลัมน์ เมื่อน้ำเสียผ่านคอลัมน์เกิดเป็นปริมาตร V_1 หรือเป็นเวลา t_1 จะมีชั้นของตัวดูดซับที่อิ่มตัวเกิดขึ้น MTZ จะเลื่อนลงมา บริเวณชั้นของตัวดูดซับได้ MTZ จะไม่เกิดการดูดซับ ตัวถูกละลายที่ออกจากคอลัมน์มีค่าความเข้มข้นน้อยมาก $= C_b$ เมื่อผ่านน้ำเสียไปจนมีปริมาตร V_2 หรือที่เวลา t_2 MTZ จะเลื่อนลงมา ชั้นของตัวดูดซับที่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นและชั้นของตัวดูดซับที่ไม่เกิดการดูดซับมีค่าลดลง ความเข้มข้นของสาร C_2 มีค่าใกล้เคียง C_1 และเมื่อให้น้ำเสียผ่านคอลัมน์จนมีปริมาตร V_b หรือที่เวลา t_b ณ จุดนี้ MTZ เลื่อนลงมาถึงขอบล่างสุดของชั้นของตัวดูดซับ ไม่มีชั้นของตัวดูดซับที่ไม่เกิดการดูดซับ น้ำเสียที่ผ่านออกมามีความเข้มข้น C_b ซึ่งมีค่าใกล้เคียง C_1 และ C_2 ณ จุดนี้ตัวดูดซับที่ยังสามารถดูดซับได้อยู่หรือไม่อิ่มตัวนั้น เป็นคาร์บอนที่อยู่ในบริเวณ MTZ เท่านั้น เมื่อผ่านน้ำเสียต่อไปชั้นของตัวดูดซับอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้น MTZ ลดลง ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ออกมาจะเพิ่มขึ้นๆจนกระทั่ง ณ จุดนี้ถือว่าตัวดูดซับหมดอายุการใช้งาน (exhaustion) ต้องนำมาฟื้นฟูสภาพ (regenerate) และ MTZ จะเริ่มเกิดขึ้นที่ขอบบนสุดของคอลัมน์ที่ 2 ถ้ามีการต่อคอลัมน์แบบอนุกรม (series) ตัวดูดซับในคอลัมน์ที่ 1 ควรนำมาฟื้นฟูสภาพและให้น้ำเสียไหลเข้าคอลัมน์ที่ 2 เป็นคอลัมน์แรกแทน สำหรับคอลัมน์ 1 เดิมที่ฟื้นฟูสภาพแล้วนำมาต่อกับคอลัมน์สุดท้ายเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ปริมาตร V_b เป็นปริมาตรที่น้ำเสียทั้งหมดไหลผ่านคอลัมน์และทำให้คอลัมน์ส่วนที่ไม่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับ หรือหมดยุ มีมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของตัวดูดซับทั้งหมด เรียกว่า breakthrough volume หลังจาก V_b ไปแล้วสารเจือปนในน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์จะเพิ่มสูงขึ้น กราฟที่ได้เรียก breakthrough curve น้ำเสียที่มีสารละลายชนิดเดียวจะมี breakthrough curve ที่มีความคมชัด (sharp breakthrough curve) มากกว่า เช่นกราฟของสาร dichloroethane เมื่อเทียบกับสารไฮโดรคาร์บอน ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีซึ่งมีสารหลายชนิดรวมกัน ดังรูปที่ 2.7

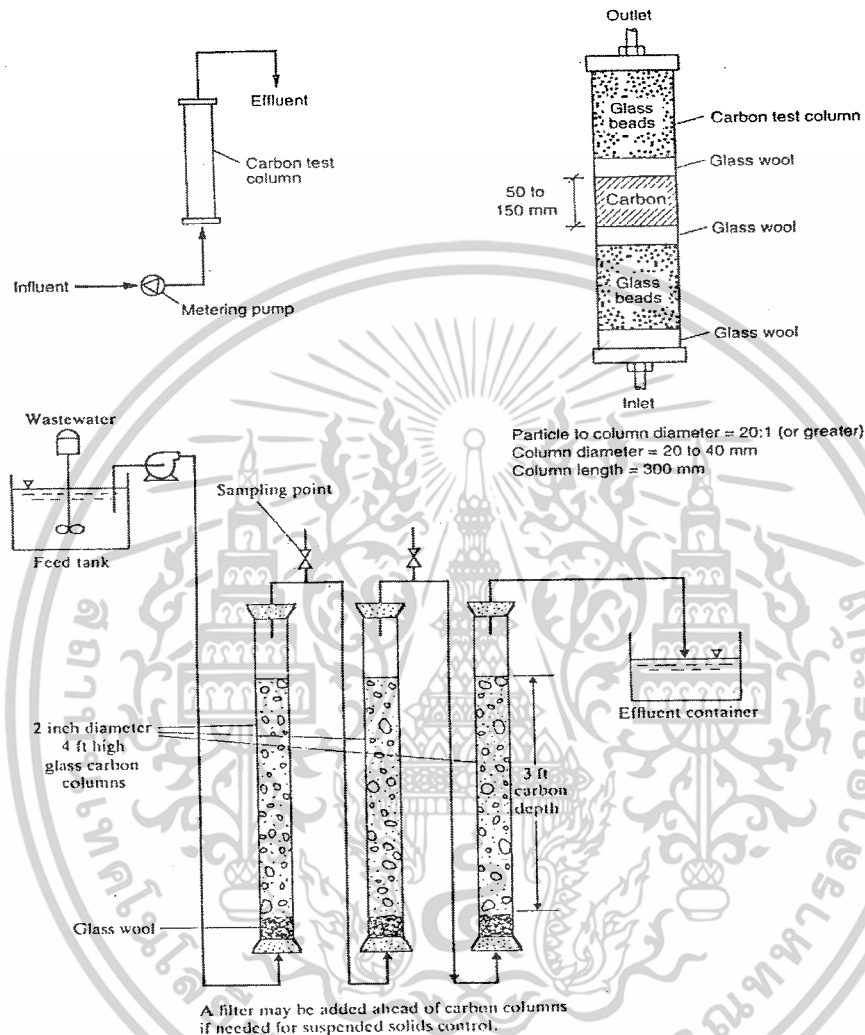


รูปที่ 2.7 แสดง breakthrough curve ของ dichloroethane และ petrochemicals

ความกว้างของบริเวณที่มีการดูดซับในคอลัมน์หรือ MTZ จะมีผลต่อความคมชัดของ breakthrough curve ถ้า MTZ แคบจะให้ sharp breakthrough curve ความกว้างของ MTZ ขึ้นกับชนิดของสารว่าถูกดูดซับได้ดีเพียงใด และอัตราการไหลของน้ำเสียมี่ค่าสูงทำให้ contact time สั้นมาก น้ำจะผ่านไปอย่างรวดเร็ว MTZ จะกว้างและไม่ให้ผลดีในการลดสารเจือปนในน้ำ ควรใช้หลายคอลัมน์ต่อกันแบบขนานจะช่วยแบ่งรับภาระ hydraulic loading rate

การต่อคอลัมน์แบบอนุกรมจะช่วยให้การบำบัดได้ผลดีเมื่อคอลัมน์ที่ 1 หมดยุการใช้งาน ซึ่งทราบได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียววิเคราะห์ คอลัมน์ที่ 2 ก็สามารถบำบัดต่อไปได้และได้น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่ำในขณะเดียวกันก็สามารถนำตัวดูดซับในคอลัมน์ที่ 1 มาฟื้นฟูสภาพโดยไม่ต้องหยุดเดินระบบ การก่อสร้างระบบควรมีข้อมูลจากห้องปฏิบัติการหรือ pilot test จะทำให้ทราบอัตราการไหลของน้ำเสียที่เหมาะสม ความลึกของ carbon bed เส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวนคอลัมน์ที่ใช้ ตัวอย่างชุดทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ชุดทดลองการดูดซับแบบต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ

(Eckenfelder, 1989 ; Metcalf & Eddy, 2003)

ความจุในการดูดซับของตัวดูดซับใน *Continuous Flow System*

ความจุในการดูดซับสารในคอลัมน์ที่น้ำเสียไหลผ่านทำได้โดยทำการทดลองผ่านน้ำเสียเข้าไปในคอลัมน์ เก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากคอลัมน์ มาวิเคราะห์เป็นระยะๆ และสร้าง breakthrough curve และการทำงานของระบบดูดซับด้วยสารดูดซับในแบบต่อเนื่องจะเป็นไปตามสมการของ Adam และ Bohart(1946) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

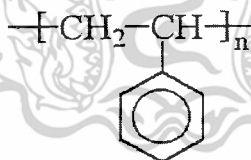
$$t = \frac{(N_0/C_0 U_0) [Z - (\frac{U_0}{KN_0} \ln (\frac{C_0}{C_t} - 1))]}{C_t}$$

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 $N_0/C_0 U_0$ และจะได้ค่า K จาก Y-Intercept เท่ากับ $1/KC_0 \ln (C_0/C_t - 1)$

2.3 พอลิสไตรีน(PS) [4]

พอลิสไตรีนมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงอสัณฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของพอลิสไตรีน

ในปี พ.ศ. 2477 ได้เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนทางการค้าเป็นครั้งแรกโดยบริษัท ดาวน์เคมี จำกัดและบริษัท ฟาร์เบน จำกัด โดยมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความแข็ง ไสและเปราะ
2. ไม่ดูดความชื้น
3. ไม่นำไฟฟ้า
4. เนื้อต่อสารเคมี

5. มีความทนทานต่อกรด ต่าง ฮาโลเจน ตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีความทนทานต่อความร้อนได้ไม่ดีเพราะอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว(T_g) อยู่ที่ประมาณ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงเกิดการย่อยสลายได้หากถูกความร้อน

7. มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 – 200,000

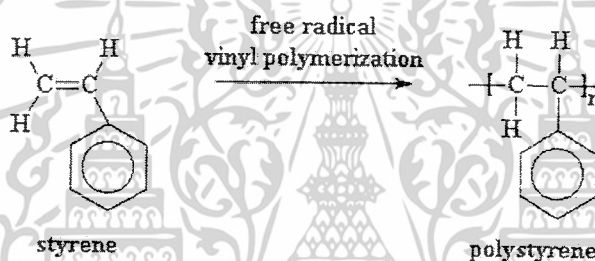
8. ทนทานต่อแรงดึงได้ดี

9. มีความหนาแน่นประมาณ 1.05 -1.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

10. ละลายได้ดีในตัวทำละลายอะโรมาติก

11. สามารถขึ้นรูปได้ง่าย แต่ชิ้นงานที่ได้มีความเปราะ

การสังเคราะห์พอลิสไตรีน แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การสังเคราะห์พอลิสไตรีนจากสไตรีน

2.3.1 โฟมพอลิสไตรีน(Polystyrene Foam)

การนำพอลิสไตรีนไปใช้งานมักนำไปทำเป็นถัง ขวด ภาชนะใส่อาหาร ชิ้นส่วนตู้เย็นหรือรถยนต์และนำไปทำเป็นโฟมกันกระแทก ซึ่งทำโดยการหลอมพอลิสไตรีนแล้วนำไปอัดด้วยเพนเทน จากนั้นให้ความร้อนด้วยไอน้ำจะเกิดการขยายตัวประมาณ 40 เท่า แล้วอัดในเบ้าให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ หรืออาจทำให้เกิดเป็นเซลล์โดยการนำพอลิสไตรีนมาเติมสารที่ทำให้พองตัว(Blowing Agent) แล้วนำมาใส่แบบที่เตรียมไว้ตามขนาดที่ต้องการจากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาได้ก๊าซออกมาเป็นโฟมพอลิสไตรีน

โฟมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. พวกที่เร่งด้วยผงฟูทำให้เกิดโฟมได้ เช่น พอลิสไตรีน(PS)
2. พวกที่หลอมแล้วทำให้ฟู เช่น พอลิเอทิลีน(PE) และพอลิไวนิลคลอไรด์(PVC)
3. พวกที่เริ่มต้นหลอมเหลวเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดเป็นโฟม เช่น ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์(UF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 พอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก(HIPS)

ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ผลิตพอลิโอสไตรีนมาก หลังจากสงครามสงบ พอลิโอสไตรีนมีมากเกินความต้องการจึงมีการคิดนำมาใช้ในด้านอื่น เพราะมีสมบัติเด่นอย่างอื่น เช่น เป็นฉนวนที่ดี สามารถผสมสีได้ง่าย โปร่งใส มีความแข็งแรงสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือ เปราะและมีความทนต่อแรงกระแทกต่ำจึงมีการพัฒนาและปรับปรุงพอลิโอสไตรีน ให้มีความเหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น โดยเติมยางบิวทาไดโอสไตรีนเรียกว่าพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก(HIPS) ซึ่งผลิตเป็นครั้งแรกโดยบริษัท ดาวน์เคมี จำกัดและบริษัท ฟาร์เบน จำกัด สมบัติเชิงกลของพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงกลของพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (ดวงพร, 2546)

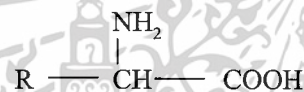
สมบัติ	หน่วย	พอลิโอสไตรีน	พอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก
ความแข็งแรงดึง	GN/m ²	3.5	1.6
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก	MN/m ²	-	17.15
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก	%	-	2
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด	MN/m ²	54	21
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	%	2.1	40
ความแข็งแรงกระแทก	J/cm ²	1.0	4.5
อุณหภูมิที่เกิดการเสียรูป	°C	100	96
การส่งผ่านของแสง	-	ใส	ทึบแสง

พอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกเมื่อมีความหนาไม่มากจะมีความใส แต่เมื่อมีความหนามากจะทึบแสง การนำไปใช้งานจึงมักใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุ ของเล่นเด็ก ส่วนประกอบในวิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2.4 เศษด้ายไหม [5, 8, 15]

เศษด้ายไหมเป็นโปรตีนซึ่งเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูง โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุคาร์บอน(C), ไฮโดรเจน(H), ไนโตรเจน(N), ออกซิเจน(O) และกำมะถัน(S) แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุฟอสฟอรัส(P), เหล็ก(Fe), สังกะสี(Zn) และทองแดง(Cu) เพิ่มเข้ามา หน่วยการคำนวณน้ำหนักของโปรตีนคือกรัมแห้ง 100 กรัมแห้งเท่ากับน้ำหนักของโปรตีนที่ผ่านการนำโปรตีนไปใช้

โครงสร้างของโปรตีนคือกรดอะมิโนซึ่งสามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้ด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่ง พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนมีชื่อว่าพันธะเพปไทด์ พันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ที่เกิดจากการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่ α อะมิโนของกรดอะมิโนตัวที่อยู่ถัดไป โมเลกุลของโปรตีนอาจจะประกอบไปด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้ โดยโซ่พอลิเพปไทด์จะมีความยาวแตกต่างกันไปซึ่งจะมีกรดอะมิโนประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วย โปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวลโมเลกุลและการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่จำเพาะที่สำคัญอยู่ 20 ชนิด กรดอะมิโนมีสูตรโมเลกุลทั่วไปดังนี้



ภายในโมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโนจะมีหมู่อะมิโนต่ออยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก(กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้นไกลซีน) ด้วยเหตุที่หมู่เอมีนเป็นเบสและหมู่คาร์บอกซิลิกเป็นกรดจึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้แก่เบส สูตรโมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียนในรูปการแตกตัวเป็นไอออนหรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ดังนี้



โปรตีนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ โดยอาศัยโครงรูป(Conformation) หรือรูปร่าง 3 มิติได้ดังนี้คือ

1. โปรตีนกลอบูลาร์ ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มาขดม้วนกันแน่นในลักษณะที่กลม โดยเอาหมู่ R ที่มีขั้วของกรดอะมิโนอยู่ด้านนอกโมเลกุล ซึ่งจะถูกไฮเดรตด้วยน้ำ และเอาหมู่ R ที่ไม่ชอบน้ำไว้ข้างในโมเลกุล โครงสร้างของโปรตีนพวกนี้ประกอบด้วยเกลียวแอลฟาและเบตาในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ ตัวอย่างเช่น เอนไซม์เกือบทุกชนิด แอนติบอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

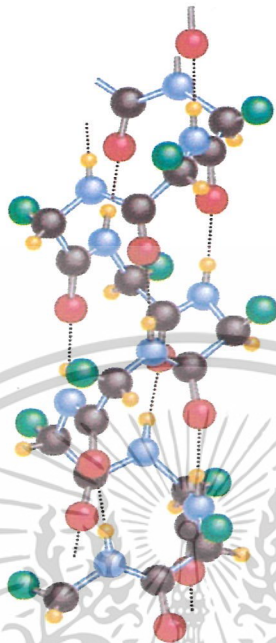
2. โปรีตินเส้นใย ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะที่เป็นเส้นใยหรือเป็นแผ่น มีความแข็ง เหนียวและอาจยืดหยุ่นได้ ไม่ละลายน้ำหรือในสารละลายเกลือที่เจือจาง โปรีตินพวกนี้เป็นโปรีตินที่สำคัญในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ชั้นสูง เช่น คอลลาเจนของเอ็นและของเมทริกซ์กระดูก เคราตินของเส้นผม ขนและไฟโบรอินของเส้นไหม

โครงสร้างของโปรีตินสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดคือ

1. โครงสร้างปฐมภูมิ หมายถึง โครงสร้างของโปรีตินที่ประกอบด้วยการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะเป็นสายยาวของโซ่พอลิเพปไทด์ด้วยพันธะเพปไทด์
2. โครงสร้างทุติยภูมิ โปรีตินทั้งหลายในธรรมชาติประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิ 3 แบบด้วยกันคือ α -เฮลิกซ์, β -ชีท และ β -เบนด

2.4.1 α -เฮลิกซ์

เป็นโครงสร้างระดับทุติยภูมิของสายพอลิเพปไทด์มากที่สุด ซึ่งโครงสร้างของสายพอลิเพปไทด์จะขดวนเป็นเกลียวเหมือนสปริง หมู่อาร์บอนิลมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่อะมิโนของเอไมด์ที่ห่างออกไป 4 หน่วย การหมุนวนของขดสปริงที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบวนขวา ความเสถียรของ α -เฮลิกซ์เกิดจากการที่มีพันธะไฮโดรเจนสำหรับหมู่อาร์บอนิลของทุกหน่วยของอะมิโนแอซิดเรซิดิว และยังเป็นโครงสร้างที่ทำให้มีการจัดเรียงตัวของสายพอลิเพปไทด์ที่ประหยัดเนื้อที่ คือเกิดการอัดตัวกันอย่างหนาแน่นเป็นเกลียว ในการเขียนรูปโครงสร้างของโปรีตินนิยมใช้ขดสปริงแทนโครงสร้างแบบ α -เฮลิกซ์ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างแบบ α -เฮลิคัล (Chang, 1994)

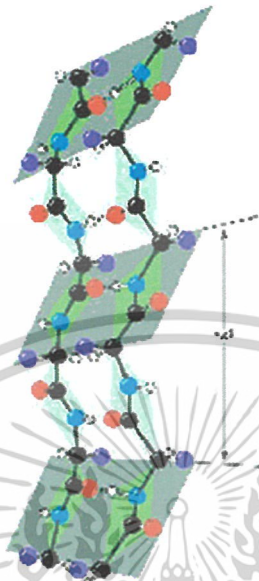
2.4.2 β -ชีท

เป็นโครงสร้างระดับทุติยภูมิที่พบมากเป็นอันดับสองรองจาก α -เฮลิคัล, β -ชีท เกิดจากการที่สายพอลิเพปไทด์ 2 สายมาอยู่คู่ขนานกัน และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิลของสายหนึ่งกับหมู่ NH ของสายเอมีนจากอีกสายหนึ่ง แผ่นหรือระนาบที่เกิดจากการวางขนานกันของสายพอลิเพปไทด์ จะมีการหักขึ้นลงของพลีทเหมือนรอยหยักขึ้นลงของการพับกระดาษ β -ชีท ที่สายพอลิเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C เหมือนกัน เรียกว่า พาราเลล β -ชีท (Parallel β -sheet) ส่วน β -ชีท ที่สายพอลิเพปไทด์มีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C ตรงข้ามกัน เรียกว่า แอนติพาราเลล β -ชีท (Antiparallel β -sheet) ในการเขียนโครงสร้างของโปรตีนนิยมใช้รูปเส้นลูกศรแบบบ่งโครงสร้างแบบ β -ชีท

2.4.3 β -เบนด

คอนฟอร์เมชันแบบ β -เบนด จะพบบริเวณจุดหักมุมเพื่อกลับทิศทางของสาย α -เฮลิคัล หรือ β -ชีท ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นลูป(loop) ซึ่งเกิดจากการที่หมู่คาร์บอนิลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ถัดไป 3 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 โครงสร้าง β -ชีท ของพอลิเพปไทด์ (Chang, 1994)

3. โครงสร้างตติยภูมิ หมายถึง โครงสร้างที่มีสายพอลิเพปไทด์มาขมวดแน่นในลักษณะกลมของโปรตีนกลอบูลูลาร์ พันธะที่เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้โครงสร้างนี้เสถียรอยู่ได้ คือ พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโคเวเลนต์และพันธะอ่อน เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก หรือพันธะนอนโพลาร์และแรงแวนเดอร์วาลส์

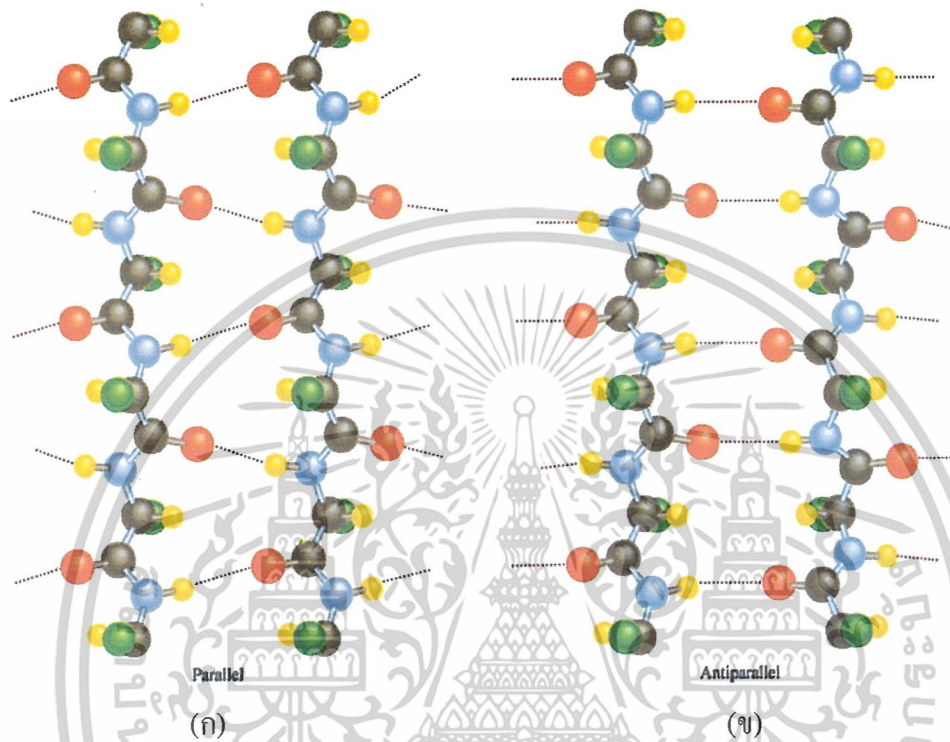
4. โครงสร้างจตุรภูมิ หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งสายอยู่ร่วมกันด้วยพันธะอ่อน แต่ละสายพอลิเพปไทด์หรือหน่วยย่อยหรือหน่วยโปรโตเมอร์ (Protomer) อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันได้ โปรตีนที่มีโครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า โอลิโกเมอร์โปรตีน ตัวอย่างเช่น ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วยโซ่แอลฟา 2 โซ่และเบตา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

เสียด้ายไหม เป็นโปรตีนพวกไฟโบรอินซึ่งประกอบด้วย กรดอะมิโน ดังนี้คือ ไกลซีน 40 % อะลานีน 29 % และเซรีน 12 % และมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกัน คือ $(\text{Gly} - \text{Ser} - \text{Gly} - \text{Ala} - \text{Gly} - \text{Ala})_n$ โครงสร้างไฟโบรอินจะเป็นแผ่นพลิทเบต้า ชนิดที่มีสายเพปไทด์วิ่งสวนทางกัน ทำให้ไฟโบรอินมีลักษณะเป็นแผ่นพลิทหลายๆ แผ่นมาซ้อนทับกัน ในแผ่นพลิทเบต้าสายเพปไทด์จะวิ่งขนานกัน มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มและกลุ่มของพันธะเพปไทด์ที่เคียงคู่กัน แขนงข้าง(หมู่ R) จะชี้ออกสู่ด้านข้างและด้านบนของสายเพปไทด์แขนงด้านข้างที่มีขนาดเล็ก เช่น ไกลซีน เซรีนและอะลานีน จะช่วยทำให้แผ่นพลิทอยู่ตัวได้ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14 เป็นโครง

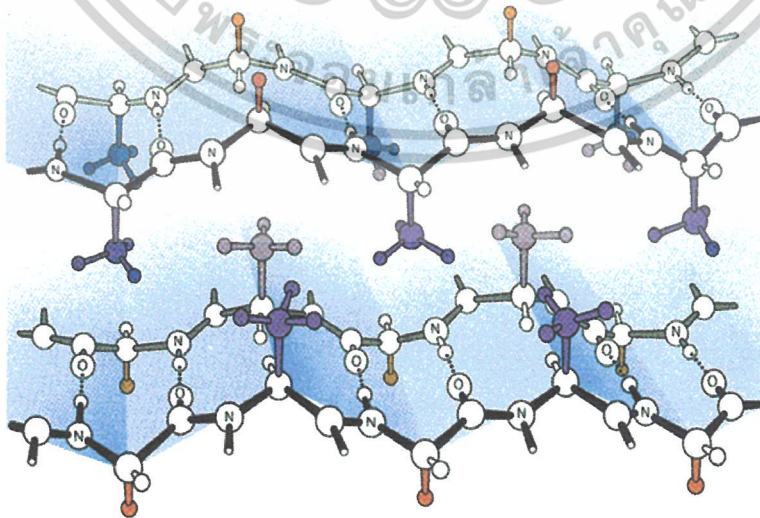
สร้างของเสียด้ายไหม

จะอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างแผ่นพับลิบเต้าแบบขนาน(ก) และแบบไม่ขนาน(ข) (Chang, 1994)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้เฉพาะที่องค์กรศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.14 โครงสร้าง 3 มิติของไหม (Chang, 1994)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แกลบ [3, 9, 13]

2.5.1 ลักษณะทางกายภาพของแกลบ

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

2.5.2 สัณฐานวิทยาของแกลบ

ผิวนอกของแกลบมีลักษณะเป็นเซลล์ที่เป็นรูปเหลี่ยม ซึ่งมีปริมาณของซิลิกาสูง ถูกปิดทับด้วยคิวติเคิล(cuticle) หนาและมีขนสั้นๆอยู่บนผิว ภายในประกอบด้วยเส้นใยและเซลล์ที่ประกอบด้วยเส้นใยต่างๆ ชั้นกลางมีปริมาณซิลิกาอยู่ต่ำกว่าชั้นนอก โดยทั่วไปอาจสรุปโครงสร้างของแกลบ ได้ดังนี้

- ผนังเซลล์ด้านนอกประกอบด้วยเซลล์ลักษณะเป็นปุ่มที่มีซิลิกาอยู่สูง
- สเคอร์เรนไคมา(Sclerenchyma) ประกอบด้วยเส้นใยต่างๆ อันประกอบด้วยลิกนินและซิลิกา
- พARENไคมา(Parenchyma) เป็นเซลล์ลักษณะคล้ายฟองน้ำมีรูพรุนและมีรูปร่างแตกต่างกันไป
- ผนังชั้นในประกอบด้วยเส้นใยที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน

2.5.3 องค์ประกอบของแกลบ

องค์ประกอบของแกลบจะแตกต่างกันไปตามแหล่งเพาะปลูก ส่วนมากจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ ซิลิกา และสิ่งปนเปื้อน องค์ประกอบหลักๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในแกลบพบว่าประกอบไปด้วยคาร์บอน 51.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สารอินทรีย์นี้ประกอบด้วยพวก เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาลและพอลิเมอร์ของน้ำตาล ดังแสดงในตารางที่ 2.3

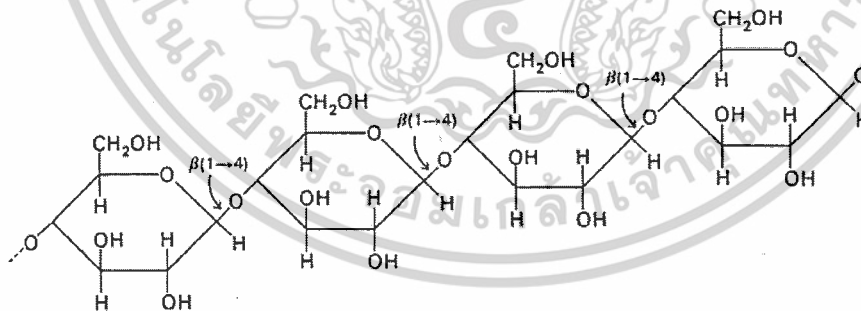
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแอลบ (ชัตชนก, 2545)

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

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

1. เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นเส้นใยของโพลีแซคคาไรด์(polysaccharide) ที่เป็นส่วนประกอบหลักในผนังเซลล์พืชและเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมากที่สุด เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์สายตรงที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรเซลลูโลสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\beta(1-4)$ กลูโคซิดิก โครงสร้างของเซลลูโลสส่วนใหญ่จะเป็นรูปผลึกที่มีระเบียบประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ซึ่งโครงสร้างของเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเซลลูโลส (เรืองลักษณ์, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของแซคคาไรด์และลิกนิน (ชัตชนก, 2545)

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 hemicellulose

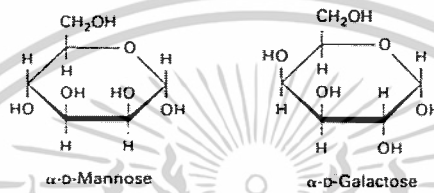
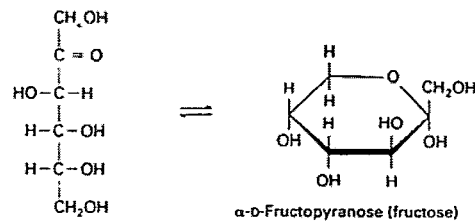
+ Also called Dextrose

A compound related to phenol, C_6H_5OH

2. เซมิเซลลูโลส

เซมิเซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นร่วมกับพวกเซลลูโลสแต่จะอยู่ในรูปอสัณฐานที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมทางเคมีต่างกับพวกเซลลูโลสและมีมวลต่ำกว่ามาก ดังแสดงในตารางที่ 2.3 เซลลูโลสมักจะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวต่างๆ หลายชนิดหลายๆ ตัวมาต่อกันเป็นกลุ่มดังรูปที่ 2.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงสร้างส่วนใหญ่จะคล้ายกับพวกเซลลูโลส ยกเว้นพวกพอลิเมอร์ของเซมิเซลลูโลสมักจะประกอบด้วยหน่วยย่อย 50-200 หน่วย และต่อกันแบบกิ่งก้านสาขามากกว่าแบบเส้นตรง

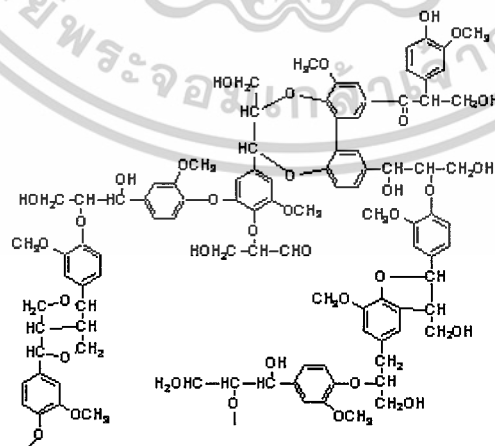
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของน้ำตาลต่างๆ ที่ประกอบเป็นเฮมิเซลลูโลส (Campbell, 2000)

3. ลิกนิน

ลิกนินเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของพืช ประกอบด้วยโครงสร้างอะโรมาติกของหน่วยฟีนอลโพรเพนที่เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอนสายตรง(aliphatic chain) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.17 ซึ่งจะเห็นว่าลิกนินมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเป็นผนังเซลล์ของพืชที่จะช่วยทำตัวเสมือนการยึดและเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์พืช นอกจากนี้ลิกนินยังอยู่ในรูปอสัณฐานเช่นเดียวกับพวกเฮมิเซลลูโลส



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารอินทรีย์

องค์ประกอบของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่หมายถึงเถ้า แกลบมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันไปตามแหล่งเพาะปลูก โดยมีสัดส่วนของซิลิกาอยู่ในช่วงระหว่าง 87-97 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาณเถ้าและปริมาณซิลิกาในแกลบกับสัดส่วนอื่นๆ ของต้นข้าวและพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอื่นๆ พบว่า แกลบมีปริมาณเถ้าและซิลิกามากกว่าพืชชนิดอื่นๆ ดังนั้นด้วยสาเหตุนี้เองจึงอาจเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านแกลบมีลักษณะคงตัว

ตารางที่ 2.4 ปริมาณเถ้าและปริมาณซิลิกาในส่วนต่างๆ ของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (ชัชชนก, 2545)

พืช	ส่วนต่าง ๆ	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

2.6 ถ่าน(Charcoal) [22]

ปัจจุบันการใช้พลังงานจากชีวมวล(Biomass) ได้รับความนิยมมาก แหล่งพลังงานชีวมวลที่สำคัญในปัจจุบันนี้คือ ไม้ชนิดต่างๆและกะลามะพร้าว ซึ่งสามารถนำมาทำฟืน ถ่าน หรือผ่านกระบวนการความร้อนเคมี(Thermochemical) แล้วจึงได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ กระบวนการทางเคมีความร้อนของไม้สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้คือ

1. เมื่อไม้หรือกะลามะพร้าวได้รับความร้อนในขั้นแรกความร้อนจะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำที่อยู่ภายในเนื้อไม้ให้กลายเป็นไอก่อน ในช่วงนี้อุณหภูมิภายในเนื้อไม้และกะลามะพร้าวค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อความชื้นของเนื้อไม้เข้าใกล้ศูนย์ อุณหภูมิที่ผิวไม้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ไม้ได้รับความร้อนจากภายนอกอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 200 องศาเซลเซียส ไม้จึงเริ่มสลายตัวสารประกอบที่เป็นก๊าซและสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะระเหยออกมาซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ สารไฮโดรคาร์บอน น้ำมันและกรด เราเรียกกระบวนการนี้ว่าไพโรไลซิส(Pyrolysis) การระเหยของสารเหล่านี้จะมีผลต่อโครงสร้างของเนื้อไม้ จำนวนคาร์บอนในเนื้อไม้เพิ่มขึ้น และในที่สุดไม้จะเปลี่ยนเป็นสีดำและได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่าน(Charcoal) ที่นำไปใช้เผาไหม้เพื่อให้พลังงานได้ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ถ่านไม้และถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากการเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

3. หลังจากกระบวนการไพโรไลซิส ถ้าสิ่งแวดล้อมมีออกซิเจนอยู่ด้วย สารระเหยจะทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจนได้ก๊าซที่มีโมเลกุลเล็กลงไปอีก โดยปริมาณและชนิดของก๊าซที่ได้จะขึ้นกับปริมาณอากาศและออกซิเจน

การใช้ประโยชน์จากถ่าน

ในปัจจุบันผลผลิตถ่านไม้และถ่านจากกะลามะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าที่นำไปใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนเท่านั้น เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงถ่านหินต่างๆซึ่งมักจะมีค่ามลพิษที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ดี ถ่านดำที่ผลิตด้วยอุณหภูมิสูงที่เราเรียกว่าถ่านบริสุทธิ์นั้นหากมีปริมาณผลผลิตที่มากพอและคงที่ ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายทั้งในครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมได้ การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

ถ่านบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulfide) โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium cyanide) ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon carbide) หรือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านไม้ที่มีค่าคาร์บอนเสถียรสูง (High Fixed Carbon) นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น ใช้ในระบบการกรองในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะหรือใช้ซีเมนต์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ให้แข็งตัวช้าและมีความแข็งแรงขึ้น

2. การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน

คุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและความชื้นของถ่าน ได้ถูกนำมาใช้ในครัวเรือนโดยสามารถใช้ถ่านเพื่อทำหน้าที่ดูดกลิ่นในห้องปรับอากาศซึ่งให้ประสิทธิภาพดีมาก ในห้องปรับอากาศที่ทำงานหรือในรถยนต์ โดยเฉพาะที่ที่มีผู้สูบบุหรี่ควรนำถ่านไม้ไปวางไว้ที่ช่องดูดอากาศกลับของเครื่องดูดอากาศ รูพรุนของถ่านไม้และจุลินทรีย์ที่อยู่ในถ่านไม้จะดูดซับกลิ่นและเชื้อโรคต่างๆเอาไว้ทำให้ช่วยลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้อย่างดี

3. การใช้ประโยชน์ในการเกษตร

ในภาคการผลิตทางเกษตรกรรม การนำถ่านไม้มาใช้ประโยชน์นั้นมีคุณค่าที่น่าสนใจไม่น้อย เนื่องจากถ่านมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นภัยต่อพืชและสัตว์จึงสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ประโยชน์จากถ่านไม้ในการเกษตรมีดังต่อไปนี้คือ

- ใช้เป็นสารปรับปรุงดิน ทำให้ดินร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดี
- ถ่านแกลบหรือถ่านชานอ้อยซึ่งมีราคาถูกและหาง่าย ใช้ทดแทนแกลบรองพื้นคอกสัตว์เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนและก๊าซต่างๆ
- ใช้ผสมอาหารสัตว์
- ใช้ปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำในบ่อเลี้ยงปลาหรือกุ่ม

2.7 มะพร้าว [2]

ลักษณะทั่วไป

มะพร้าว (Coconut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. โดยส่วนที่สำคัญคือ

ผล เมื่อมีการผสมเกสรดอกตัวเมียจะพัฒนาเป็นผล ผลมะพร้าวประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ ชั้นนอกสุดคือเปลือกนอกสุดของผล เป็นเนื้อเยื่อเหนียวแข็ง เรียกว่ากาบมะพร้าว เมื่อผลแก่จะมีสีเขียว หรือสีเหลือง หรือสีน้ำตาลไหม้ ทั้งนี้แล้วแต่พันธุ์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นกลาง คือ เนื้อเยื่อทั้งหมดที่อยู่ถัดจากเปลือกชั้นนอกเข้าไปจนถึงกะลา ผลอ่อนจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม บางพันธุ์รับประทานได้ เมื่อผลแก่จะกลายเป็นเส้นใย

ชั้นใน คือกะลามะพร้าวเป็นเนื้อเยื่อที่แข็งแรง รูปร่างกลม มีเส้นแบ่งให้เห็นเป็น 3 ส่วนอย่างชัดเจน โดยมีตา 3 ตา ระหว่างเส้นนูนที่ขั้วผลเป็นตาแข็ง 2 ตา อีก 1 ตา เป็นตาน้ำมอยู่ตรงกลาง เส้นของกะลาที่มีมุมกว้างสุด และเป็นตาใหญ่ที่สุดซึ่งจะเจริญไปเป็นหน่อต่อไป

เมล็ดมะพร้าว คือส่วนที่กะลาหุ้มไว้ทั้งหมด นับตั้งแต่แผ่นเยื่อบางๆ สีน้ำตาลเข้าไปถึงเนื้อมะพร้าวที่มีสีขาว เมื่อผลยังอ่อนนุ่ม รสหวาน แต่พอผลแก่เนื้อจะแข็งหนามีน้ำมันสะสมอยู่มาก

องค์ประกอบ

มะพร้าวจะเริ่มมีเนื้อสมบูรณ์อายุ 300 วัน และเมื่ออายุ 12 เดือน กะลาแข็ง และมะพร้าวจะสุกเต็มที่ มะพร้าวที่สมบูรณ์จะมีส่วนประกอบดังนี้

เปลือกมะพร้าว 35% กะลามะพร้าว 12% เนื้อมะพร้าว 28% น้ำมันมะพร้าว 25%

ประโยชน์

มะพร้าวเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก ปลูกได้แทบทุกภาคของประเทศ แต่แหล่งที่ปลูกมะพร้าวที่สำคัญส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณจังหวัดภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออกของประเทศ การที่มีมะพร้าวอยู่แพร่หลายก็เพราะว่าต้นมะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นับแต่รากถึงยอด ไม่มีส่วนใดที่ต้องทิ้งเลย เริ่มตั้งแต่จั่นมะพร้าว นอกจากจะได้น้ำตาลมะพร้าวดื่มสดๆ แล้ว หากมีมากก็สามารถเคี้ยวเป็นน้ำตาลใส่ปี๊บส่งขายตามตลาด เรียกว่า “น้ำตาลปี๊บ” ซึ่งทำกันมากแถบจังหวัดสมุทรสงคราม หรือน้ำหวานที่รองได้เอาเปลือกไม้ฝาดบางอย่างใส่แช่ลงทำให้เกิดแอลกอฮอล์ขึ้น เรียกว่า “กระแช่” ชาวสวนนิยมดื่มกันทั่วไป และในปัจจุบันได้มีการขออนุญาตผลิตกระแช่เสียภาษีอย่างถูกต้องให้แก่ทางรัฐบาล นำออกจำหน่ายกันแพร่หลาย คาดว่าในอนาคตเหล้าไทยแบบนี้ต้องเป็นที่นิยมของชาวไทยอย่างมาก

จากจั่นก็ถึงผล ซึ่งมีทั้งเนื้อและน้ำ รวมทั้งเปลือกของมะพร้าวด้วย สำหรับเนื้อเมื่อเป็นมะพร้าวอ่อนรับประทานได้เลยพอแก่ก็เอาเนื้อมาขูดฝอยทำขนมหรือคั้นทำกะทิ ใช้ทำอาหารได้ทั้งคาวและหวาน เนื้อมะพร้าวแห้งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันมะพร้าว ใช้ทอดอาหาร ใช้เป็นอาหารหมูได้ และที่สำคัญวงการแพทย์พบว่ากากมะพร้าวใช้เพาะเชื้อรา สำหรับปรุยาเพนนิซิลินได้ดีอีกด้วย

เปลือกหรือกาบมะพร้าวนำไปแช่น้ำประมาณ 3 สัปดาห์ นำขึ้นมาสาางเอาแต่เส้นใยใช้ทำเชือกที่มีคุณภาพดีกว่าเชือกชนิดอื่นที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติด้วยกัน เหมาะในการใช้งานที่ชุ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่เสมอ ไม่ลื่นหลุดและฝู้ง่าย หรือจะทำเป็นแปรงถูบ้าน พรหมเช็ดเท้า ไม้กวาด ทำเบารถยนต์ เบาะรองนั่งต่างๆ ใช้ขัดที่นอนแทนนุ่น แม้แต่ขุยมะพร้าวก็สามารถนำไปใช้เพาะต้นไม้ได้ดี

กะลามะพร้าวมีประโยชน์มากมายเช่นกัน นอกจากใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนสูงแล้วยังสามารถประดิษฐ์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ หรืออาจใช้ทำเครื่องเสียวไฟเราะ เช่น ซอฮู้ หากนำกะลาไปเผาให้เป็นถ่านละเอียด ใช้เป็นส่วนสำคัญของหม้อกรองหน้ากากป้องกันไอพิษได้เป็นอย่างดี

ลำต้นแก่ใช้ทำฟืน ทำเสา ทำเครื่องเรือนใช้ชั่วคราว ทำเชือก ใช้เป็นสะพานข้ามร่องคูในสวน ขุดเป็นช่องใช้เป็นที่วางใส่อาหารสัตว์ ยอดอ่อนก็สามารถนำมาประกอบอาหารได้ ทางมะพร้าวที่ใบติดอยู่ 2 ข้างนำมาผ่าครึ่งแล้วถักใบให้เป็นแผงใช้มุงหลังคาหรือเป็นแผงกันลม ใบย่อยใช้ห่อขนมหรือสานทำของเด็กเล่น ทำเสื่อ ก้านใบก็ตัดแปลงเหลาทำไม้กวาด สานเป็นกระเช้า ทำไม้กักตัก ไม้จิ้มผลไม้ รากและเชือกนอกจากนำไปเป็นสีย้อมผ้าหรือเส้นด้ายแล้ว ยังเป็นยาสมุนไพรใช้สำหรับบ้วนปาก ล้างคอแก้ปวดฟันได้

แต่โดยทั่วไปแล้ว ชาวสวนจะปลูกมะพร้าวไว้เพื่อเก็บผลเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เพื่อใช้ประกอบอาหารและแปรรูปขายเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรม ส่วนประโยชน์อย่างอื่นดังที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นเพียงผลพลอยได้เท่านั้น

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ดวงพร แก่นแก้ว และวรนุช สมส่งกุล(2003) ศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟและสีย้อมดีเพอร์สซึ่งเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้โพรพอลิตสไตรีนที่ปรับสภาพผิว ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ทดลองแบบครั้ง ซึ่งศึกษาเวลาที่ใช้ในการเขย่า 1 และ 3 ชั่วโมง ความเร็วในการเขย่า 150, 260 และ 400 รอบต่อนาที และอัตราส่วนโพรพอลิตต่อน้ำเสียสีย้อม(กรัม:มิลลิลิตร) ที่ 0.25:25, 0.25:50 และ 0.25:100 นำมากรองและเอาส่วนของเหลวไปวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาความเข้มข้นสีย้อมที่เหลืออยู่โดยสีย้อมรีแอกทีฟ วัดที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร และสีย้อมดีเพอร์สวัดที่ความยาวคลื่น 789 นาโนเมตร และนำส่วนที่เป็นของแข็งนำไปวัดโดยเครื่อง Fourier Transform Infrared spectrophotometer (FT-IR), Thermogravimetric Analyzer(TGA) และ Scanning Electron Microscope(SEM) ผลการทดลองโพรพอลิตที่ผ่านปฏิกิริยารีดักทีฟ แอมมิเนชัน จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมดีเพอร์สสำหรับสถานะที่เหมาะสมที่ใช้บำบัดสีย้อมรีแอกทีฟ คือ เวลาที่ 1 ชั่วโมง ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และอัตราส่วนระหว่างโพรพอลิตต่อน้ำเสียสีย้อม(กรัม:มิลลิลิตร) ที่ 0.25:50 ส่วนสถานะที่เหมาะสมของสีย้อมดีเพอร์สก็เป็นเช่นเดียวกับสีย้อมรีแอกทีฟ โดยประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟสามารถบำบัดได้ดีกว่าสีย้อมดีเพอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของนักศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Al-deg Y. and others(2000) ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดสี้อมรีแอกทีฟ 3 ชนิด ได้แก่ Remazol Reactive Yellow, Remazol Reactive Black และ Remazol Reactive Red โดยใช้ถ่านกัมมันต์(Filtrisorb 400) เป็นตัวดูดซับ โดยทำการศึกษาสภาพทางเคมีของพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีสภาพกรดและเบส ผลการทดลองพบว่าค่าความจุในการดูดซับมีค่าสูงขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีสภาพประจุเป็นบวกซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการที่สี้อมรีแอกทีฟเมื่อเกิดการละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนลบ ทำให้เกิดการดูดซับกับผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีประจุบวกได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงด้วย และสี้อมที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดคือ Remazol Reactive Yellow

- Robinson T. and others(2002) ศึกษาการบำบัดสี้อมกลุ่มรีแอกทีฟ ได้แก่ Cibacron Yellow C-2R, Cibacron Red C-2G, Cibacron Blue C-R, Remazol Black B, Remazol Red RB ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เกลบที่ได้จากข้าวบาร์เลย์เป็นตัวดูดซับ ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกทำการทดลองแบบครั้ง โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นสี้อมเป็น 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างกันว่า 25, 30, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าเกลบจากข้าวบาร์เลย์สามารถบำบัดสี้อมได้ 8 มิลลิกรัมต่อกรัมที่ความเข้มข้นของสี้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 90% และผลของอุณหภูมิพบว่าค่าความจุในการดูดซับมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และในการทดลองส่วนที่สองเป็นการศึกษาการบำบัดแบบต่อเนื่อง(Continuous flow packed-bed reactor, CFPBR) โดยแปรค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.51, 0.78, 1.13, 1.45 และ 1.77 มิลลิตรต่อนาที ผลการทดลองพบว่าค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.51 มิลลิตรต่อนาที ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

- Aksu Z., Gönen F. and Demiran Z.(2002) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ Mowital®B30H resin immobilized activated sludge มาใช้แทนถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในการบำบัด Cr^{6+} โดยใช้วิธีการบำบัดแบบต่อเนื่องใน Packed-bed column โดยศึกษาถึงพารามิเตอร์ต่างๆคือ อัตราการไหล 0.8, 1.6 และ 3.2 มิลลิตรต่อนาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของ Cr^{6+} ที่มีค่าต่างๆคือ 50, 100, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชเท่ากับ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 จากผลการทดลองพบว่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.8 มิลลิตรต่อนาทีจะมีค่าการบำบัดสูงสุด และเมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของ Cr^{6+} ให้มีค่ามากขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงและค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช 1

- Chang J.-S. and others(2001) ศึกษาการบำบัดสี้อม Reactive Red 22 โดยแบคทีเรีย *Pseudomonas luteola* ในการศึกษาแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดสี้อมของ *P. luteola* ได้แก่ ความเข้มข้นของสี้อม ส่วนประกอบของเอกสทรานเป็นเอกสทรานที่สังวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นาไปเซประยชนดานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อ ระยะการเจริญเติบโตของ *P. luteola* ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ(DO) พีเอช และอุณหภูมิ การทดลองส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาสารเมตาโบไลต์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดสี โดยใช้เทคนิค HPLC และ GC-MS จากการทดลองพบว่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ(DO) และกลูโคส จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีลดลง อุณหภูมิและค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 37 องศาเซลเซียส และ 7-9 ตามลำดับ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC และ GC-MS พบว่าในการบำบัดสีข้อมด้วยจุลินทรีย์จะเกิดการรบกวนของพันธะเอโซในสีข้อมรีแอกทีฟเกิดเป็นสารประกอบอะโรเมติกเอมีนชนิดใหม่เกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน(Remazol Brilliant Blue R) จากบริษัท ไคสตาร์ไทย จำกัด
2. กรดไฮโดรคลอริก(HCl) เกรดวิเคราะห์
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) เกรดวิเคราะห์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องยู่วี-วิสเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ JENWAY 6400
2. เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa 205A
3. พีเอชมิเตอร์
4. คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร
5. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสีย้อม

1. ชั่งสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน 0.5 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น
2. ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะให้ความเข้มข้นสารละลายเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. บีบสารละลายในข้อ 2 มาจำนวน 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 11 ขวด ตามลำดับ
4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะให้ความเข้มข้นสารละลายเท่ากับ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยู่วี-วิสเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร

3.4 การศึกษาความสามารถในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟของโพลีลิสไตรีน

1. บรรจุโพลีลิสไตรีนจำนวน 4.0 กรัม ลงในคอลัมน์
2. เทสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่เตรียมให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัมต่อลิตรและปรับพีเอชให้เท่ากับ 9 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล ลงในคอลัมน์ให้พอท่วมสำลีด้านบน

3. เปิดจุกคอลัมน์ให้มีอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
4. ทำการเก็บสารละลายที่ไหลออกจากคอลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย

3.5 การศึกษาความสามารถในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด

1. บรรจุขุยมะพร้าวจำนวน 24.0 กรัมลงในคอลัมน์
2. เทสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่เตรียมให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในคอลัมน์ให้พอท่วมสำลีด้านบน
3. เปิดจุกคอลัมน์ให้มีอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
4. ทำการเก็บสารละลายที่ไหลออกจากคอลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย
5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดของวัสดุธรรมชาติที่ใช้เป็น แกลบเผา ถ่านจากกะลามะพร้าวและใหม่ตามลำดับ

3.6 การศึกษาผลของอัตราการไหล(Flow rate)

1. บรรจุวัสดุธรรมชาติชนิดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.5 ลงในคอลัมน์
2. เทสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่เตรียมให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในคอลัมน์ให้พอท่วมสำลีด้านบน
3. เปิดจุกคอลัมน์ให้มีอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
4. ทำการเก็บสารละลายที่ไหลออกจากคอลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย
5. ทำการทดลองซ้ำโดยใช้อัตราการไหลเท่ากับ 2.0 และ 3.0 มิลลิลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การศึกษาผลของพีเอช

1. บรรจุวัสดุธรรมชาติชนิดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.5 ลงในคอถัมน์
2. เทสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่เตรียมให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและปรับพีเอชให้เท่ากับ 9 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัลลงในคอถัมน์ให้พอท่วมสำลีด้านบน
3. เปิดจุกคอถัมน์ให้มีอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 3.6
4. ทำการเก็บสารละลายที่ไหลออกจากคอถัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย
5. ทำการทดลองซ้ำ โดยปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 11

3.8 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

1. บรรจุวัสดุธรรมชาติชนิดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.5 ลงในคอถัมน์
2. เทสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่เตรียมให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับพีเอชให้เท่ากับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 3.7 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัลหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัลลงในคอถัมน์ให้พอท่วมสำลีด้านบน
3. เปิดจุกคอถัมน์ให้มีอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 3.6
4. ทำการเก็บสารละลายที่ไหลออกจากคอถัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย
5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเป็น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.9 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของวัสดุธรรมชาติ

ทำการศึกษาโดยใช้วัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.5 อัตราการไหลที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.6 ใช้ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองที่ 3.7 และความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินที่ได้จากการทดลองที่ 3.8 และดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาการบำบัดสีข้อมรีแอกทีฟของโพลีเมอริสไตรีน

นำโพลีเมอริสไตรีนจำนวน 4.0 กรัมบรรจุลงในคอลัมน์ เทสารละลายสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 250 มิลลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ลงในคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 1 มิลลิตรต่อนาที ทำการเก็บสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ 25 มิลลิตร ใส่ขวดใบที่ 1 และ 25 มิลลิตรต่อๆมาใส่ขวดใบที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตรเพื่อหาปริมาณของสีข้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย

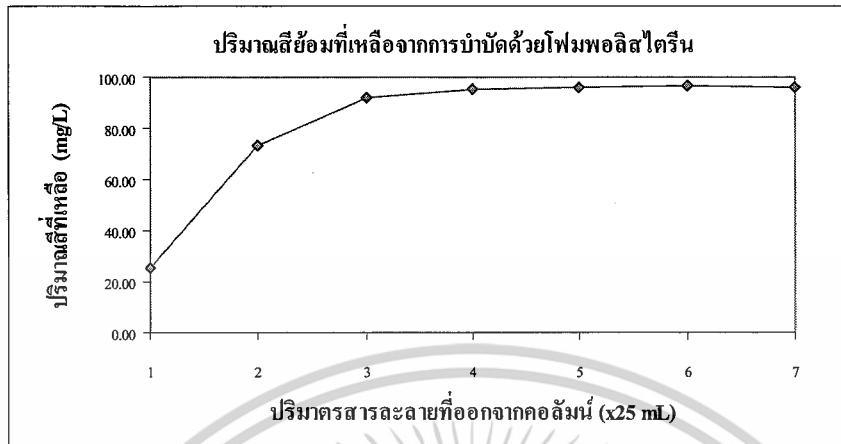
ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการบำบัดสีข้อมรีแอกทีฟของโพลีเมอริสไตรีน

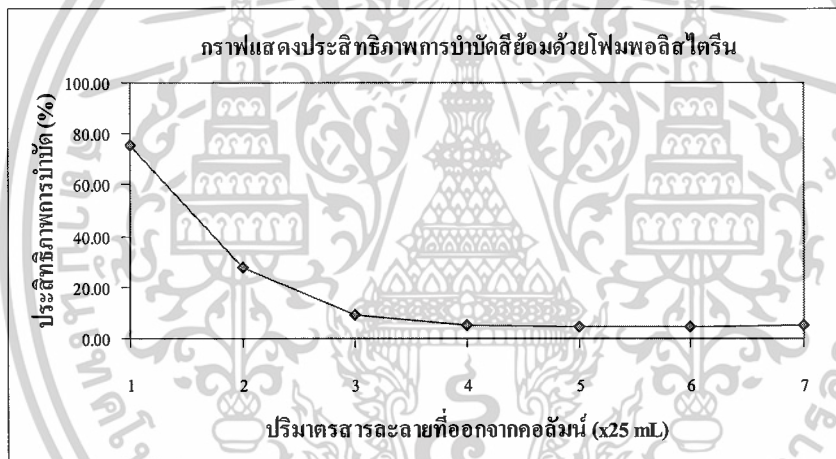
ขวดที่	ปริมาณสีข้อมที่เหลือ(mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อม(%)*
1	25.04	75.26
2	73.19	27.68
3	91.88	9.22
4	95.55	5.59
5	96.18	4.96
6	96.81	4.34
7	96.06	5.09

หมายเหตุ : * แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ปริมาณสีข้อมที่เหลือจากการบำบัดด้วยโฟมพอลิสไตรีน



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมด้วยโฟมพอลิสไตรีน

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีข้อมด้วยโฟม พอลิสไตรีนในช่วงแรกๆ จะมีค่าสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 80 – 30 % จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และจะเริ่มคงที่เมื่อปริมาณสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 100 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดประมาณ 5 %

4.2 ผลการศึกษาการบำบัดสีข้อมรีแอกทีฟของวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆ

นำเกลบคำจำนวน 24.0 กรัมบรรจุลงในคอลัมน์ เทสารละลายสีข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 500 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดใบที่ 1 และ 25 มิลลิลิตรต่อๆ มาใส่ลงในขวดใบที่ 2 ถึง 15 ตามลำดับ นำเอกลำต้นเป็นเยื่อสำหรับกรองน้ำทิ้งทิ้งไว้ก่อนใช้เพื่อกรองสีข้อมที่ติดบนเยื่อที่เห็นเป็นสีเขียวเข้มบนการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

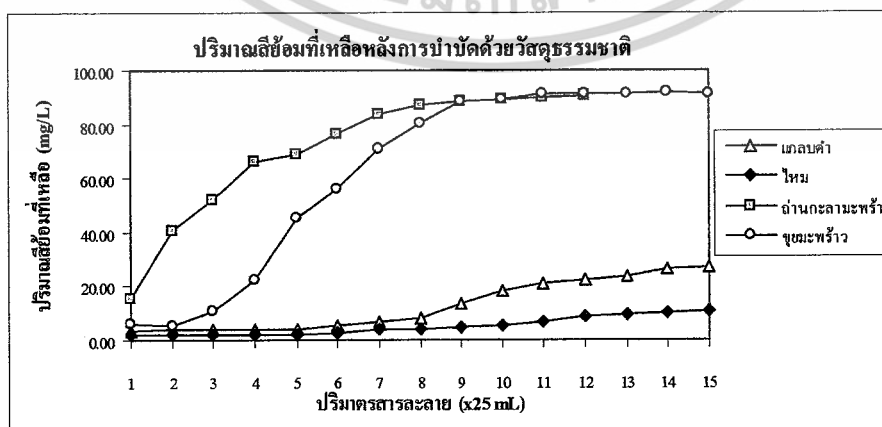
สารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตรเพื่อหาปริมาณของสีข้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย

ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดของวัสดุธรรมชาติเป็นใหม่ ถ่านกะลามะพร้าวและ ขุยมะพร้าวตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.2 ผลการบำบัดสีข้อมด้วยวัสดุธรรมชาติ

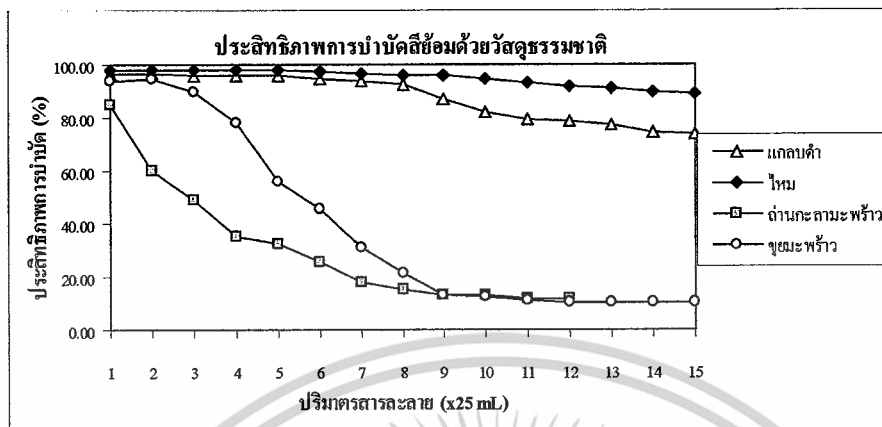
ขวดที่	ปริมาณสีข้อมที่เหลือ (mg/L)				ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อม (%)*			
	แกลบ	ใหม่	ถ่าน	ขุยมะพร้าว	แกลบ	ใหม่	ถ่าน	ขุยมะพร้าว
1	3.25	1.93	15.66	6.39	96.82	98.11	84.67	93.75
2	3.86	2.17	40.72	5.66	96.23	97.88	60.14	94.46
3	4.22	2.05	52.05	10.84	95.87	98.00	49.06	89.39
4	4.10	2.17	66.51	22.53	95.99	97.88	34.91	77.95
5	4.22	2.29	68.80	45.42	95.87	97.76	32.67	55.54
6	5.42	3.01	76.39	55.90	94.69	97.05	25.24	45.28
7	6.63	3.74	83.98	70.72	93.51	96.34	17.81	30.78
8	8.07	4.10	86.99	80.48	92.10	95.99	14.86	21.23
9	13.49	4.58	88.43	88.55	86.79	95.52	13.44	13.33
10	18.19	5.66	89.04	89.16	82.19	94.46	12.85	12.74
11	20.96	6.75	89.88	91.08	79.48	93.40	12.03	10.85
12	22.05	8.55	90.48	91.45	78.42	91.63	11.44	10.50
13	23.37	9.28	-	91.45	77.12	90.92	-	10.50
14	26.27	10.24	-	91.57	74.29	89.98	-	10.38
15	26.75	10.96	-	91.33	73.82	89.27	-	10.61

หมายเหตุ : *แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.3 ปริมาณสีข้อมที่เหลือหลังการบำบัดด้วยวัสดุธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดด้วยวัสดุธรรมชาติ

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดด้วยวัสดุธรรมชาติทั้ง 4 ชนิดจะมีค่าลดลงในช่วงแรกๆ โดยพบว่าขุยมะพร้าวและถ่านกะลามะพร้าวประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งขุยมะพร้าวจะมีค่าลดลงจาก 95 % เป็น 14 % ในช่วงปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 25 ถึง 225 มิลลิลิตร และถ่านกะลามะพร้าวจะมีค่าลดลงจาก 85 % เป็น 15 % ในช่วงปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 25 ถึง 200 มิลลิลิตร จากนั้น ประสิทธิภาพการบำบัดด้วยวัสดุธรรมชาติของขุยมะพร้าวและถ่านกะลามะพร้าวจะมีค่าคงที่ ที่ประมาณ 15 % ในกรณีของไหมและแกลบดำพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงอย่างช้าๆ โดยไหมจะมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 90 ถึง 98 % ขณะที่แกลบดำจะมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 75 ถึง 97 %

จากการทดลองสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยวัสดุธรรมชาติจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ไหม > แกลบดำ > ขุยมะพร้าว > ถ่านกะลามะพร้าว ตามลำดับ

ดังนั้นจึงเลือกใช้ไหมและแกลบดำเป็นวัสดุในการบำบัดน้ำเสียในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของการบำบัดต่อไป

4.3 ผลการศึกษาค่าอัตราการไหล(Flow rate) ที่เหมาะสม

นำไหมจำนวน 24.0 กรัมบรรจุลงในคอลัมน์ เทสารละลายสี้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 1 ลิตร ลงในคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตรเพื่อหาปริมาณของสี้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนวัสดุธรรมชาติเป็นแกลบดำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่

4.3 รูปที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.3 ผลการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำที่อัตราการไหล 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที

ขวดที่	ปริมาณสีย้อมที่เหลือ (mg/L)						ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม(%)*					
	ไหม			แกลบดำ			ไหม			แกลบดำ		
	1**	2**	3**	1**	2**	3**	1**	2**	3**	1**	2**	3**
1	1.26	0.94	0.63	6.75	1.26	3.45	98.72	99.10	99.40	93.16	98.80	96.64
2	0.90	1.88	0.59	5.98	0.86	3.18	99.09	98.20	99.44	93.94	99.17	96.90
3	0.94	1.88	0.43	15.02	5.65	30.12	99.05	98.20	99.59	84.78	94.60	70.64
4	0.94	1.24	0.55	23.61	24.12	55.29	99.05	98.82	99.47	76.07	76.94	46.10
5	0.90	1.41	0.51	26.63	36.47	63.22	99.09	98.65	99.51	73.02	65.13	38.38
6	1.37	2.90	1.18	30.44	40.00	66.55	98.61	97.22	98.87	69.15	61.75	35.13
7	1.96	4.31	3.57	36.11	42.71	67.33	98.01	95.87	96.58	63.41	59.17	34.37
8	3.73	7.92	8.59	40.32	46.08	68.59	96.22	92.42	91.78	59.14	55.94	33.14
9	7.61	14.16	17.37	43.98	52.63	70.08	92.28	86.45	83.37	55.43	49.68	31.69
10	12.67	24.39	29.02	44.18	55.96	72.28	87.15	76.65	72.22	55.23	46.49	29.55
11	20.55	35.53	41.96	44.06	57.76	74.24	79.16	65.99	59.83	55.35	44.77	27.64
12	28.98	46.67	54.90	43.41	57.45	75.02	70.60	55.33	47.45	56.00	45.07	26.87
13	38.16	57.80	66.82	42.25	58.43	75.10	61.30	44.67	36.04	57.18	44.13	26.80
14	47.22	69.29	77.18	42.13	59.33	74.67	52.11	33.67	26.13	57.31	43.27	27.22
15	56.35	79.49	85.77	42.33	60.78	74.55	42.84	23.91	17.91	57.10	41.88	27.33
16	63.65	88.08	91.45	-	60.78	-	35.44	15.69	12.46	-	41.88	-
17	71.02	92.63	94.85	-	61.84	-	27.96	11.34	9.21	-	40.87	-
18	76.59	96.59	96.31	-	61.77	-	22.31	7.55	7.81	-	40.94	-
19	80.47	99.06	97.26	-	-	-	18.38	5.18	6.91	-	-	-
20	81.22	100.82	98.31	-	-	-	17.62	3.49	5.89	-	-	-
21	82.82	-	-	-	-	-	15.99	-	-	-	-	-
22	82.86	-	-	-	-	-	15.95	-	-	-	-	-
23	82.63	-	-	-	-	-	16.19	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : * แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

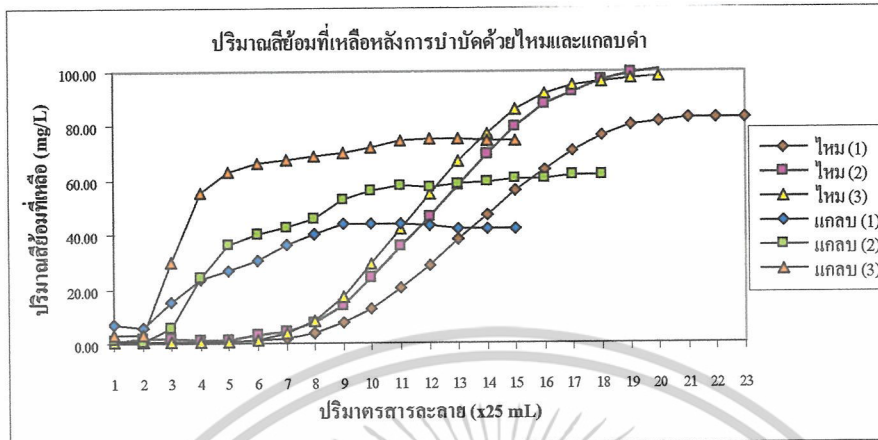
1** = อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที

2** = อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที

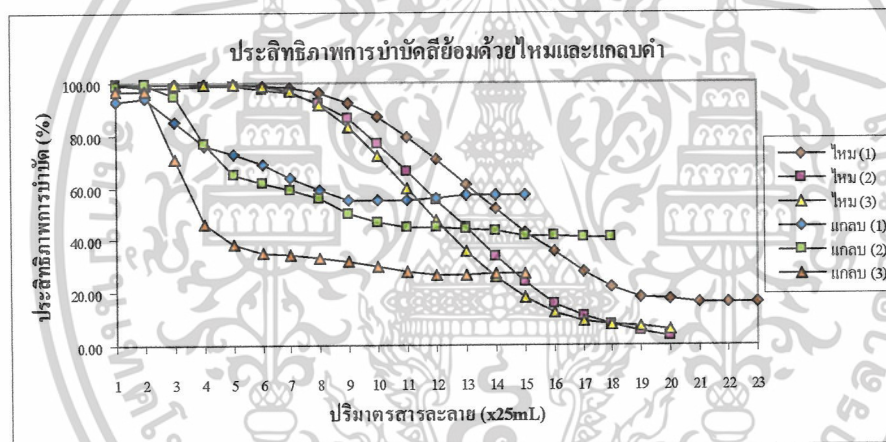
3** = อัตราการไหล 3 มิลลิลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ปริมาณสีข้อมที่เหลือหลังการบำบัดด้วยไหมดและเกลบดำ



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมด้วยไหมดและเกลบดำ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 การบำบัดสีข้อมด้วยไหมดและเกลบดำที่อัตราการไหล 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ผลการทดลองที่คล้ายกันคือ ทุกๆ อัตราการไหล ความเข้มข้นสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์ในช่วงแรกจะมีค่าต่ำและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยไหมดจะมีค่าความเข้มข้นสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาตรสารละลายที่ 175 ถึง 450 มิลลิลิตร ในขณะที่เกลบดำจะมีค่าความเข้มข้นสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาตรสารละลายที่ 25 ถึง 150 มิลลิลิตร จากนั้นค่าความเข้มข้นสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจะคงที่ในที่สุด ซึ่งที่อัตราการไหล 3 มิลลิลิตรต่อนาทีที่มีค่าความเข้มข้นสารละลายสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์มากกว่าที่อัตราการไหล 2 และ 1 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ ดังนั้นที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาทีไหมดและเกลบดำสามารถบำบัดสีข้อมได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาอัตราการไหลที่ 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อทำการเปรียบเทียบการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำ ณ จุดที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากัน พบว่าในช่วงปริมาตรที่ 25 ถึง 325 มิลลิลิตร ความเข้มข้นสีย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยไหมจะมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นสีย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบดำ แต่เมื่อปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์มากกว่า 325 มิลลิลิตร ความเข้มข้นสีย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยไหมจะมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นสีย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยแกลบดำ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำที่อัตราการไหล 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าในกรณีของไหม ในช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 25 ถึง 200 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมจะมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่ประมาณ 99 % จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ตั้งแต่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 475 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมต่ำกว่า 20 % ทุกอัตราการไหลกรณีของแกลบดำ ในช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 25 ถึง 50 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมจะมีค่าสูงประมาณ 96 % จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ตั้งแต่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 250 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมประมาณ 55, 40 และ 30 % ที่อัตราการไหล 1, 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำ พบว่าที่ปริมาตรเริ่มแรกทั้งไหมและแกลบดำจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกันที่ประมาณ 98 % จากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมของทั้งไหมและแกลบดำจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าที่อัตราการไหลเดียวกันและปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากัน ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมจะมีค่าสูงกว่าการบำบัดด้วยแกลบดำ แต่เมื่อปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์มีค่ามากกว่า 325 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยแกลบดำจะมีค่าสูงกว่าการบำบัดด้วยไหม

4.4 ผลการศึกษาค่าพีเอช

นำไหมจำนวน 24.0 กรัมบรรจุลงในคอลัมน์ เทสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 100 มิลลิลิตรต่อลิตร จำนวน 1 ลิตร ที่มีค่าพีเอช 9 และ 11 ลงในแต่ละคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตรเพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

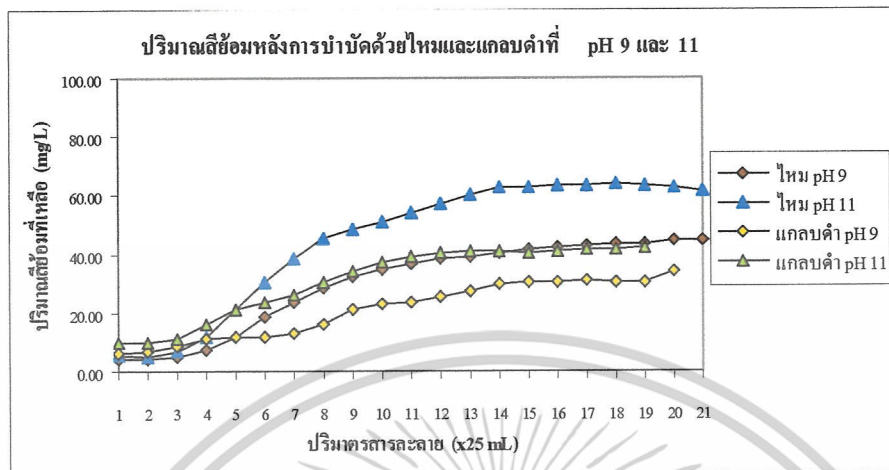
ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนวัสดุธรรมชาติเป็นแกลบดำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.4 ผลการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำที่พีเอช 9 และ 11

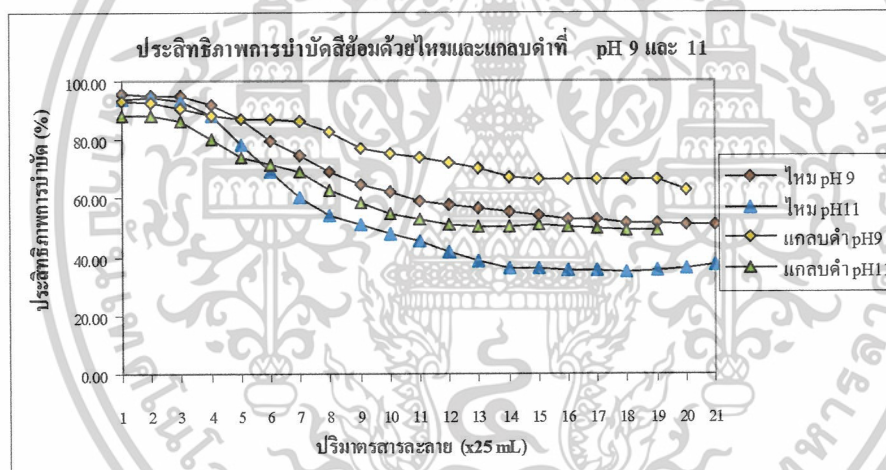
ขวดที่	ปริมาณสีที่เหลือ (mg/L)				ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม (%)*			
	ไหม		แกลบดำ		ไหม		แกลบดำ	
	pH9	pH11	pH9	pH11	pH9	pH11	pH9	pH11
1	4.14	5.81	6.43	9.69	95.43	94.07	92.95	88.25
2	4.41	5.27	6.67	9.88	95.14	94.62	92.70	88.01
3	4.75	6.74	8.68	11.12	94.75	93.12	90.49	86.51
4	7.24	11.67	10.93	16.20	92.01	88.10	88.03	80.35
5	11.80	21.36	11.71	21.40	86.97	78.21	87.18	74.05
6	18.77	30.70	11.82	23.64	79.27	68.68	87.05	71.32
7	23.31	38.72	12.75	25.85	74.26	60.50	86.03	68.64
8	28.31	45.08	16.09	30.66	68.74	54.01	82.38	62.81
9	32.18	48.14	20.85	34.34	64.47	50.89	77.15	58.35
10	34.52	51.01	22.83	37.36	61.89	47.96	74.99	54.68
11	36.90	53.76	23.57	39.07	59.26	45.16	74.18	52.61
12	38.20	57.25	25.66	40.62	57.83	41.60	71.89	50.73
13	39.39	60.08	27.29	40.93	56.51	38.71	70.11	50.35
14	40.61	62.98	29.81	40.89	55.16	35.75	67.35	50.40
15	41.46	62.48	30.62	40.58	54.23	36.26	66.45	50.78
16	42.53	63.18	30.70	40.85	53.05	35.55	66.37	50.45
17	42.99	63.45	30.78	41.32	52.54	35.27	66.28	49.88
18	43.72	63.92	30.70	41.74	51.73	34.80	66.37	49.37
19	43.60	63.49	30.58	42.15	51.86	35.23	66.50	48.87
20	44.71	62.83	34.19	-	50.63	35.90	62.55	-
21	44.60	61.78	-	-	50.76	36.97	-	-

หมายเหตุ : *แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ปริมาณสีย้อมที่เหลือน้ำหลังบำบัดด้วยไหมดและแกลบค้ำที่พีเอช 9 และ 11



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมดและแกลบค้ำที่พีเอช 9 และ 11

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 การบำบัดสีย้อมด้วยไหมดและแกลบค้ำที่พีเอช 9 และ 11 พบว่าความเข้มข้นสีย้อมที่ออกจากคอลัมน์ในช่วงแรกจะมีค่าต่ำและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยไหมดจะมีค่าความเข้มข้นสีย้อมที่ออกจากคอลัมน์เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาตรสารละลายที่ 75 ถึง 350 มิลลิลิตร ในขณะที่แกลบจะมีค่าความเข้มข้นสีย้อมที่ออกจากคอลัมน์เพิ่มขึ้นในช่วงปริมาตรสารละลายที่ 75 ถึง 325 มิลลิลิตร จากนั้นจะมีค่าคงที่ ที่พีเอช 9 ความเข้มข้นสีย้อมในสารละลายที่ออกจากคอลัมน์จากการบำบัดด้วยแกลบและไหมดจะมีค่าน้อยกว่าที่พีเอช 11 ดังนั้นที่พีเอช 9 ทั้งไหมดและแกลบค้ำสามารถบำบัดสีย้อมได้ดีกว่าที่พีเอช 11

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมดและแกลบค้ำที่ pH 9 และ 11 ฤทธิ์ของไหมดในช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 25 ถึง 75 มิลลิลิตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมจะมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่ประมาณ 94 % จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง และเริ่มคงที่ตั้งแต่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 375 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมประมาณ 53 % ที่พีเอช 9 และประมาณ 35 % ที่พีเอช 11 กรณีของแกลบดำในช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 25 ถึง 75 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมจะมีค่าสูงประมาณ 90 % จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ตั้งแต่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่ 325 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมประมาณ 66 และ 50 % ที่พีเอช 9 และ 11 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำ พบว่าที่พีเอช 9 ทั้งไหมและแกลบดำสามารถบำบัดสีย้อมได้ดีกว่าที่พีเอช 11 และที่พีเอชเดียวกันแกลบดำสามารถบำบัดสีย้อมได้ดีกว่าไหม

4.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

นำไหมจำนวน 24.0 กรัมบรรจุลงในคอลัมน์ ใช้สารละลายสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 9 จำนวน 1 ลิตร ลงในคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตรเพื่อหาปริมาณของสีย้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย

ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนวัสดุธรรมชาติเป็นแกลบดำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.9 และ 4.10

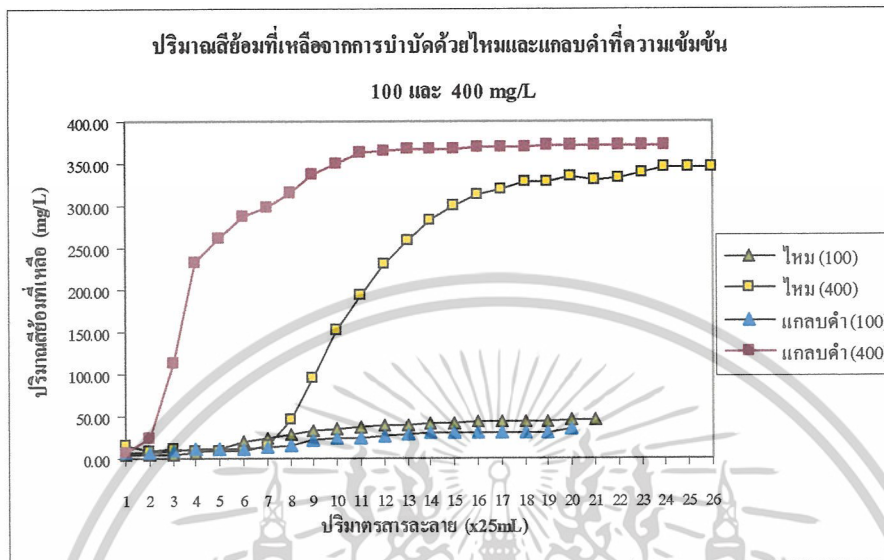
ตารางที่ 4.5 ผลการบำบัดสีข้อมด้วยไหมและแกลบดำที่ความเข้มข้นสีข้อม 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ขวดที่	ปริมาณสีที่เหลือ (mg/L)				ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อม (%)*			
	ไหม		แกลบดำ		ไหม		แกลบดำ	
	100**	400**	100**	400**	100**	400**	100**	400**
1	4.14	14.54	6.43	6.98	95.43	96.30	92.95	98.30
2	4.41	7.95	6.67	23.06	95.14	97.98	92.70	94.38
3	4.75	11.43	8.68	113.95	94.75	97.09	90.49	72.25
4	7.24	8.33	10.93	232.95	92.01	97.88	88.03	43.28
5	11.80	7.75	11.71	259.88	86.97	98.03	87.18	36.72
6	18.77	8.92	11.82	286.82	79.27	97.73	87.05	30.16
7	23.31	15.70	12.75	298.64	74.26	96.01	86.03	27.28
8	28.31	44.96	16.09	316.28	68.74	88.56	82.38	22.99
9	32.18	94.77	20.85	336.82	64.47	75.89	77.15	17.99
10	34.52	152.52	22.83	349.03	61.89	61.19	74.99	15.02
11	36.90	193.02	23.57	362.60	59.26	50.89	74.18	11.71
12	38.20	230.81	25.66	364.34	57.83	41.27	71.89	11.29
13	39.39	258.14	27.29	367.64	56.51	34.32	70.11	10.49
14	40.61	282.36	29.81	367.44	55.16	28.16	67.35	10.53
15	41.46	299.23	30.62	368.41	54.23	23.87	66.45	10.30
16	42.53	312.02	30.70	369.38	53.05	20.61	66.37	10.06
17	42.99	319.77	30.78	370.35	52.54	18.64	66.28	9.82
18	43.72	327.91	30.70	369.96	51.73	16.57	66.37	9.92
19	43.60	329.26	30.58	371.09	51.86	16.22	66.50	9.65
20	44.71	333.92	34.19	371.90	50.63	15.04	62.55	9.45
21	44.60	330.23	-	371.90	50.76	15.98	-	9.45
22	-	331.78	-	371.23	-	15.58	-	9.61
23	-	339.92	-	370.93	-	13.51	-	9.68
24	-	346.51	-	372.48	-	11.83	-	9.31
25	-	345.16	-	-	-	12.18	-	-
26	-	345.54	-	-	-	12.08	-	-

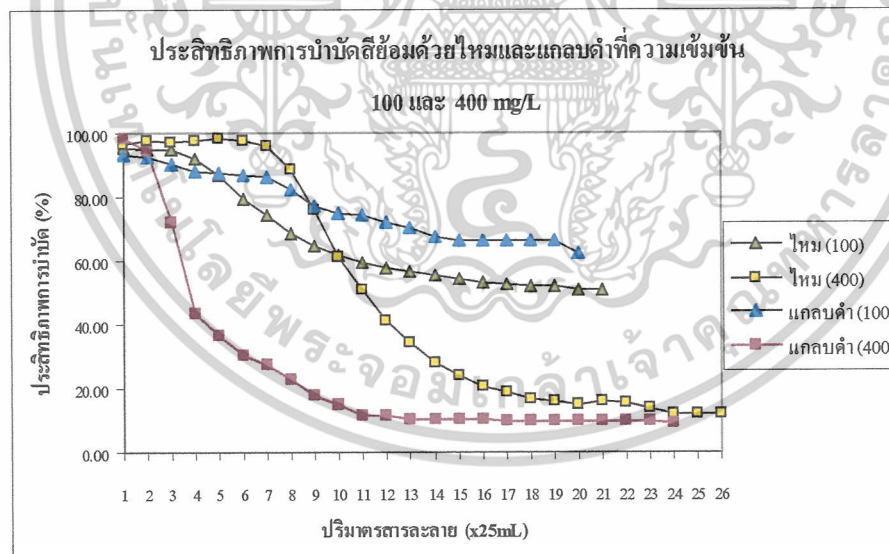
หมายเหตุ : * แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

100**, 400** = ความเข้มข้น 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ปริมาณสีที่ยอมที่เหลือหลังบำบัดด้วยไหมและแกลบดำที่ความเข้มข้นสียอม 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดสียอมด้วยแกลบดำและไหมที่ความเข้มข้น 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.9 การบำบัดสียอมด้วยไหมและแกลบดำที่ความเข้มข้น 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากันแนวโน้มของกราฟทั้งไหมและแกลบดำมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน โดยที่ความเข้มข้นสียอม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสียอมที่ออกจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลลัมน์จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และค่อนข้างคงที่ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นสี่ข้อม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความเข้มข้นสี่ข้อมที่ออกจากคอลลัมน์จะมีค่าต่ำในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเริ่มคงที่ที่ปริมาตรสารละลายเท่ากับ 425 และ 275 มิลลิลิตร ค่าความเข้มข้นสี่ข้อมที่ออกจากคอลลัมน์ประมาณ 350 และ 370 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับใหม่และแลกเปลี่ยนลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นสี่ข้อมที่ออกจากคอลลัมน์ พบว่าที่ความเข้มข้นสี่ข้อม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งใหม่บำบัดสี่ข้อมได้ดีกว่าแลกเปลี่ยนลำดับ และที่ความเข้มข้นสี่ข้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งใหม่และแลกเปลี่ยนสามารถบำบัดสี่ข้อมได้ใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดสี่ข้อมด้วยใหม่และแลกเปลี่ยนลำดับที่ความเข้มข้น 100 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร กรณีของใหม่ในช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์ที่ 25 ถึง 125 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสี่ข้อมจะมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่ประมาณ 95 % จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์ที่ 125 ถึง 375 มิลลิลิตร และเริ่มคงที่ตั้งแต่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์ที่ 375 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสี่ข้อมประมาณ 50 % ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และประมาณ 13 % ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร กรณีของแลกเปลี่ยนลำดับในช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์ที่ 25 ถึง 75 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสี่ข้อมจะมีค่าสูงประมาณ 94 % จากนั้นที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรประสิทธิภาพจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และเริ่มคงที่ตั้งแต่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์ที่ 325 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสี่ข้อมประมาณ 66% ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรจะลดลงอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ที่ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์ 275 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสี่ข้อมประมาณ 10%

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี่ข้อมด้วยใหม่และแลกเปลี่ยนลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้น 100 ทั้งใหม่และแลกเปลี่ยนลำดับสามารถบำบัดสี่ข้อมได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรใหม่สามารถบำบัดสี่ข้อมได้ดีกว่าแลกเปลี่ยนลำดับ แต่ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรแลกเปลี่ยนลำดับสามารถบำบัดสี่ข้อมได้ดีกว่าใหม่

4.6 ผลการศึกษาการบำบัดสี่ข้อมรีแอกทีฟของใหม่และแลกเปลี่ยนลำดับ

นำใหม่จำนวน 24.0 กรัมบรรจุลงในคอลลัมน์ ใช้สารละลายสี่ข้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 9 จำนวน 1 ลิตร ลงในคอลลัมน์ ปรับอัตราการไหลของสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บสารละลายที่ออกจากคอลลัมน์ทุกๆ 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตรเพื่อหาปริมาณของสี่ข้อมที่เหลืออยู่ในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

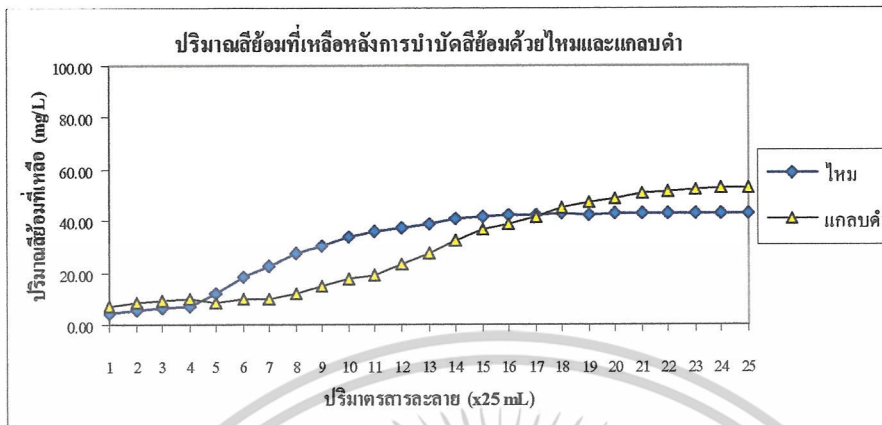
ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นเกลบดำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.6 ผลการบำบัดสีข้อมด้วยไหมและเกลบดำ

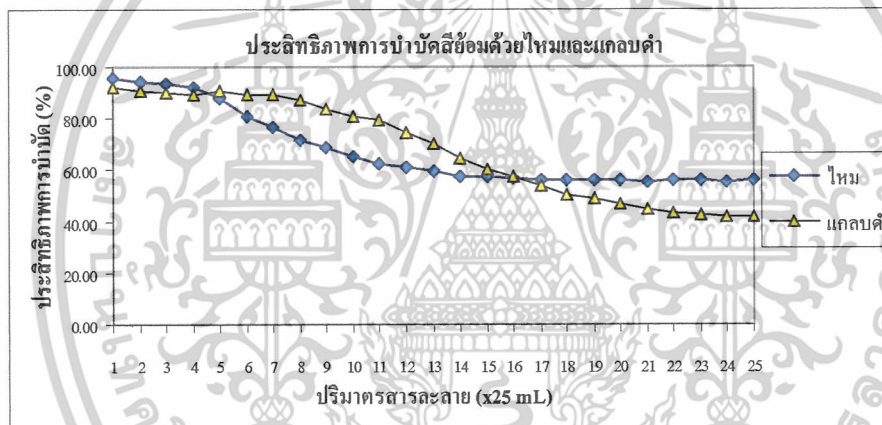
ขวดที่	ปริมาณสีข้อมที่เหลือ (mg/L)		ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อม(%)*	
	ไหม	เกลบดำ	ไหม	เกลบดำ
1	4.37	7.09	95.48	92.23
2	5.75	8.37	94.05	90.83
3	6.32	9.07	93.45	90.06
4	7.24	9.88	92.50	89.17
5	11.95	8.61	87.62	90.57
6	18.51	9.54	80.84	89.55
7	22.53	10.00	76.68	89.04
8	27.24	11.86	71.80	87.01
9	30.35	15.12	68.58	83.44
10	33.79	17.67	65.01	80.64
11	36.09	19.07	62.63	79.11
12	37.47	23.26	61.21	74.52
13	38.85	27.21	59.78	70.19
14	41.15	32.33	57.40	64.59
15	41.26	36.51	57.28	60.00
16	41.95	38.61	56.56	57.71
17	42.30	41.86	56.21	54.14
18	42.76	45.00	55.73	50.70
19	42.53	46.86	55.97	48.66
20	42.64	48.61	55.85	46.75
21	42.99	50.81	55.49	44.33
22	42.76	51.51	55.73	43.57
23	42.64	52.44	55.85	42.55
24	42.99	52.91	55.49	42.04
25	42.76	53.14	55.73	41.78

หมายเหตุ : * แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ปริมาณสีข้อมที่เหลือหลังการบำบัดด้วยไฮ้มและแกลบลค่า



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดด้วยไฮ้มและแกลบลค่า

จากตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.11 และ 4.12 ผลการบำบัดสีข้อมด้วยไฮ้มและแกลบลค่าที่สภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที พีเอช 9 และความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความเข้มข้นสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์ที่บำบัดด้วยไฮ้มจะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่จนถึงปริมาตรสารละลายเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะเริ่มคงที่อีกครั้งที่ปริมาตรสารละลายเท่ากับ 350 มิลลิลิตร สีข้อมที่ออกจากคอลัมน์มีความเข้มข้นประมาณ 42 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์ที่บำบัดด้วยแกลบลค่าจะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่เช่นกัน จนถึงปริมาตรสารละลายเท่ากับ 150 มิลลิลิตร ความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นและจะเริ่มคงที่อีกครั้งที่ปริมาตรสารละลายเท่ากับ 550 มิลลิลิตรเช่นกัน และสีข้อมที่ออกจากคอลัมน์มีความเข้มข้นประมาณ 52 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีข้อมด้วยไฮ้มและแกลบลค่าพบว่า ในช่วงปริมาตรเริ่มต้นทั้งไฮ้มและแกลบลค่าจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกันจนการดำเนินการไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนถึงปริมาตรสารละลายที่ 100 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดสีของแกลบดำจะลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดสีของไหมจะค่อยๆ ลดลง โดยประสิทธิภาพการบำบัดสีของแกลบดำจะคงที่เมื่อมีปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 550 มิลลิลิตร และมีประสิทธิภาพประมาณ 43 % และประสิทธิภาพการบำบัดสีของไหมจะคงที่เมื่อมีปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 350 มิลลิลิตร และมีประสิทธิภาพประมาณ 55 %

ดังนั้นในการบำบัดสีด้วยไหมและแกลบดำที่สภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที พีเอช 9 และความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไหมมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าแกลบดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน(Remazol Brilliant Blue R) โดยใช้โฟม-พอลิสไตรีนและวัสดุธรรมชาติ ได้ผลดังต่อไปนี้คือ

1. การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินโดยใช้โฟมพอลิสไตรีน พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อม*ต่ำมากเพียง 5.00 %

2. วัสดุธรรมชาติที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม คือ ขุยมะพร้าว ถ่านกะลามะพร้าว ไหม และ แกลบดำ พบว่า ขุยมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 57.97 % ถ่านกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 39.92 % ไหมมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 94.95 % และ แกลบดำมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 88.53 % ซึ่งสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ไหม > แกลบดำ > ขุยมะพร้าว > ถ่านกะลามะพร้าว

3. การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินโดยใช้ไหมและแกลบดำพบว่า ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที พีเอชเท่ากับ 9 ความเข้มข้นสีย้อมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมด้วยไหมและแกลบดำมีค่าสูงสุดเท่ากับ 72.76 % และ 70.39 % ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าไหมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงินได้ดีกว่าแกลบดำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมในการศึกษา
2. ควรทำการศึกษาพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วย เช่น ความสูงของชั้นตัวดูดซับ เป็นต้น
3. ควรทำการบำบัดแบบครั้งร่วมด้วย

หมายเหตุ : * การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม(ประสิทธิภาพคอลัมน์) แสดงใน

ภาคผนวก ข
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน.2542.
คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม.
- [2] เจริญ สร้างสมสุขสกุล และ สัญญา แต่งศรี.2545.การกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยกาบมะพร้าวและผักตบชวา.ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ชัดชนก โชคชัยเจริญ, พิมพ์สิรินทร์ แดงสระน้อย และ อาทิตย์ วาณิชอดิศักดิ์.2545.ปัจจัยที่มีผลต่อการคงตัวของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านแกลบ.ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] ดวงพร แก่นแก้ว และ วรนุช สมส่งกุล.2546.การปรับปรุงโพลีเอสเตอร์ใช้ในการกำจัดสีย้อมโดยปฏิกิริยารีดักทีฟแอมมิเนชัน.ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] ดลฤทัย เอื้อมนวัธน์, ดิฐพงษ์ ถนอมพันธุ์ และ ต่อตระกูล อุบลวัตร.2543.การศึกษาสมบัติฟิสิกส์คอมโพสิตโดยใช้เถ้าผงไหมเป็นสารตัวเติม.ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] ยุพา ต้นทวี.เอกสารประกอบการสอน การควบคุมมลพิษทางน้ำ.โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ม.ป.ป.
- [7] ราตรี ปิ่นทอง, ถักขมา ตันติจรรยารัตน์ และ สุชาสินี วงศ์ศรีวัฒนกุล.2543.การดูดซับสารละลายสีย้อมโดยใช้ต้นข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง.ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] เรื่องลักษณะ จามิกรณ์.2545.ชีวเคมีเบื้องต้น.พิมพ์ครั้งที่ 11 : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [9] อสมาน นัยวิริยะ, วณิชรัตน์ มะลิมาศ และ วีรพงศ์ วุฒิวัฒนากุล.2546.การศึกษาการกำจัดฤทธิ์โลหะหนักด้วยวิธีการดูดซับด้วยเถ้าแกลบดำและการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์.ปริญญาานิพนธ์
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- [10] Aksu Z., Gönen F. and Demircan Z. 2002. Biosorption of chromium(VI) ions by Mowital[®] B30H resin immobilized activated sludge in a packed bed : comparison with granular activated carbon. **Process Biochemistry**.38 : 175-186.
- [11] Bohart G.S. and Adams E.Q. 1946. **J. Am.Chem Soc.**42 : 523-544.
- [12] Bouzaida I. and Rammah M.B. 2002. Adsorption of acid dyes on treated cotton in a continuous system. **Materials Science & Engineering**.21 : 151-155.
- [13] Campbell P.N. and Smith A.D. 2000. **Biochemistry Illustrated**.4th ed.New York : Churchill Livingstone.
- [14] Chang J.-S. and others.2001.Kinetic characteristics of bacterial azo-dye decolorization by *Pseudomonas luteola*. **Water Research**.35 : 2841-2850.
- [15] Chang R. 1994. **Chemistry**.5th ed. New York : McGraw-Hill.
- [16] Crini G. 2003. Studies on adsorption of dyes on beta-cyclodextrin polymer. **Bioresource Technology**. 90 : 193-198.
- [17] Eckenfelder and Wesley W. 1989. **Industrial Water Pollution Control**. International Editions. Singapore : McGraw-Hill.
- [18] Metcalf & Eddy Inc. 1991. **Wastewater Engineering**. International Editions. Singapore : McGraw-Hill.
- [19] Metcalf & Eddy Inc. 2003. **Wastewater Engineering**. International Editions. Singapore : McGraw-Hill.
- [20] Robinson T. and others. 2002. Studies on the removal of dyes from a synthetic textile effluent using barley husk in static-batch mode and in a continuous flow, packed-bed, reactor. **Bioresource Technology**.85 : 43-49.
- [21] Walker G.M. and Weatherley L.R. 1997. Adsorption of acid dyes on to granular activated carbon in fixed beds. **Water Research**.31 : 2093-2101.
- [22] www.Charcoal.snmcenter.com/Charcoalthai/Charcoal_fun1.php.
- [23] www.Chem.ox.ac.uk/MSDS/Safety-phrases.
- [24] Xu H. and Hu X. 1999. Preparation of anion exchangers by reductive amination of acetylated crosslinked polystyrene. **Reactive & Functional Polymers**.42 : 235-242.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาความเข้มข้นของสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

ก.1 วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน(Calibration curve)

1. เตรียมสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นต่างๆคือ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. นำสารละลายสีย้อมที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร
3. นำข้อมูลที่ได้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมจะได้กราฟมาตรฐาน

ก.2 วิธีการหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

1. นำสารละลายที่ต้องการหาความเข้มข้นมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร
2. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหาความเข้มข้นโดยใช้วิธีการเทียบกับกราฟมาตรฐาน

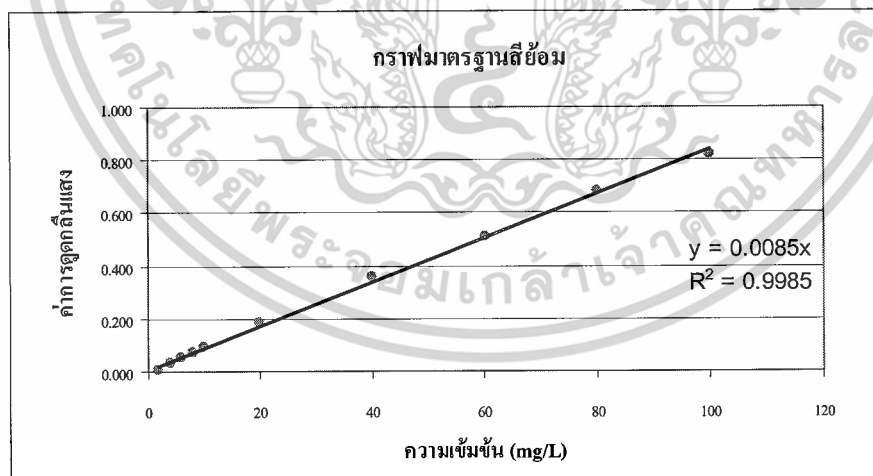
ก.3 กราฟมาตรฐาน

สีย้อม Remazol Brilliant Blue R มีค่า $\lambda_{\max} = 587$ นาโนเมตร

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายสีย้อม

Remazol Brilliant Blue R ($\lambda_{\max} = 587$ นาโนเมตร)

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
2	0.008
4	0.036
6	0.055
8	0.076
10	0.091
20	0.184
40	0.359
60	0.510
80	0.680
100	0.824



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานสีย้อม Remazol Brilliant Blue R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดเสีย

ข.1 การคำนวณค่าประสิทธิภาพการกำจัดเสีย

ประสิทธิภาพการกำจัดเสียสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด(\%)} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นสารละลายเสียเริ่มต้น(mg/L)

C = ความเข้มข้นสารละลายเสียที่เหลือ(mg/L)

ข.2 การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดเสีย(ประสิทธิภาพคอลัมน์) [10]

ประสิทธิภาพการบำบัดเสียหรือประสิทธิภาพของคอลัมน์ ทำได้โดยทำการทดลองผ่านสารละลายเสียที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น C_0 เข้าไปในคอลัมน์ จากนั้นเก็บตัวอย่างสารละลายที่ออกจากคอลัมน์มาวิเคราะห์เป็นระยะๆ จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น C นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นสารละลายเสียที่ถูกดูดซับในคอลัมน์($C_{ad} = C_0 - C$) กับเวลาหรือปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์(V_{eff}) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$V_{eff} = Q t_{total}$$

เมื่อ V_{eff} = ปริมาตรสารละลายที่ออกจากคอลัมน์(mL)

Q = อัตราการไหลของสารละลาย(ml min⁻¹)

t_{total} = เวลา(min)

จะได้กราฟที่แสดง breakthrough curve ซึ่งจุดที่ความเข้มข้นสารละลายเสียเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าคงที่สามารถคำนวณหาปริมาณเสียที่ถูกดูดซับได้จากสมการ

$$q_{total} = \frac{Q}{1000} \int_{t=0}^{t=t_{total}} C_{ad} dt$$

เมื่อ q_{total} = ปริมาณเสียที่ถูกดูดซับในคอลัมน์(mg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถคำนวณปริมาณสีย้อมทั้งหมดที่เข้าสู่คอลัมน์ได้จากสมการ

$$m_{\text{total}} = C_0 Q_{\text{total}} / 1000$$

เมื่อ m_{total} = ปริมาณสีย้อมทั้งหมดที่เข้าสู่คอลัมน์(mg)

จากนั้นสามารถคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมหรือประสิทธิภาพของคอลัมน์ได้จากสมการ

$$\text{Total removal (\%)} = (q_{\text{total}} / m_{\text{total}}) \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูล MSDS ของสารเคมี

ก.1 MSDS ของ Hydrochloric Acid

ก.1.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : muriatic acid, chlorohydric acid.

สูตรโมเลกุล : HCl

CAS No. : 7647-01-0

EC No. : 231-595-7

Annex I Index No. : 017-002-01-x

ก.1.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Appearance : ใสไม่มีสีหรือเป็นสารละลายสีเหลืองอ่อนมีกลิ่นฉุน สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะเกิดเป็นไอ

Melting point : -25°C

Boiling point : 109°C

Specific gravity : 1.19

Vapour pressure : Not available.

Flash point : Not available.

Explosion limits : Not available.

Autoignition temperature : Not available.

ก.1.3 Toxicology

การกัดกร่อน เมื่อหายใจเอาไอของสารเข้าไปจะเกิดอันตรายอย่างรุนแรง ถ้าเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารอาจเกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ สารละลายของเหลวสามารถทำลายผิวหนังและดวงตา

ORL-RBT LD50 : 900 mg kg^{-1}

IPR-MUS LD50 : 40 mg kg^{-1}

IHL-RAT LC50 : 3124 ppm/1h.

IHL-HMN LCLO : 1300 ppm 30 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น จักทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Risk phrases : ระเบิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดไอของสาร เมื่อสัมผัสกับผิวหนัง และเป็นพิษอย่างรุนแรงถ้ากลืนเข้าสู่ร่างกาย สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง และดวงตา

ค.1.4 Personal Protection

ควรสวมแว่นตานิรภัยหรือหน้ากากปิดหน้า ถุงมือ และควรอยู่ในที่ที่มีการระบายอากาศอย่างทั่วถึง

ค.2 MSDS ของ Remazol Brilliant Blue R

ค.2.1 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.2.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Physical State : 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.3 Toxicology

ทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อตับ เป็นสารที่ก่อให้เกิดเนื้องอก

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

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

ค.2.4 Personal Protection

ควรสวมแว่นตานิรภัย ถุงมือ และสวมเสื้อผ้าที่มิดชิดเพื่อป้องกันการสัมผัสกับ สารเคมีโดยตรง

ค.3 MSDS ของ Sodium Hydroxide

ค.3.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ : caustic soda, soda lye, lye, white caustic, aetznatron, Collo-Grillrein, Collo-Tapetta, sodium hydrate, fotofoil etchant, NAOH, STCC 4935235, sodium hydroxide pellets, Lewis red devil lye

สูตรโมเลกุล : NaOH

CAS No. : 1310-73-2

EC No. : 215-185-5

Annex I Index No. : 011-002-00-6

ค.3.2 ข้อมูลทางกายภาพ

Appearance : เป็นของแข็งสีขาวไม่มีกลิ่น

Melting point : 318 °C

Boiling point : 1390 °C

Vapour density : Not available.

Vapour pressure : 1 mm Hg at 739 °C

Specific gravity : 2.12

Flash point : n/a

Explosion limits : n/a

Autoignition temperature : Not available.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Water solubility : สามารถละลายน้ำได้ดี

ค.3.3 Toxicology

ก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง เป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ได้ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการทำลายดวงตาอย่างรุนแรง เป็นพิษอย่างรุนแรงเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร

Toxicity data

IPR-MUS LD50 : 40 mg kg⁻¹

Irritation data

EYE-MKY : 1%/24 h sev

SKN-RBT : 500 mg/24 h sev

EYE-RBT : 1% sev

ค.3.4 Personal Protection

ควรสวมแว่นตานิรภัยเมื่อต้องใกล้ชิดกับสาร อยู่ในที่ที่มีการระบายอากาศอย่างทั่วถึง สวมถุงมือที่ทำด้วย PVC หรือ Neoprene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับโรงงานฟอกย้อม

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานฟอกย้อมนั้น ได้พิจารณาจากข้อมูลแหล่งต่างๆ รวมกัน ซึ่งได้แก่

- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- มาตรฐานน้ำทิ้งระบายออกจากแหล่งกำเนิดของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในปัจจุบัน

สำหรับดัชนีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่สำคัญได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยและปริมาณสีในน้ำทิ้ง

มาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยงานต่างๆ

มาตรฐานน้ำทิ้งปัจจุบันที่ควบคุมน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกรมเจ้าท่า สรุปได้ดังตารางที่ ง. 1

ตารางที่ ง.1 มาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยงานต่างๆ

ดัชนีวิเคราะห์	มาตรฐานน้ำทิ้ง			
	กรมโรงงาน อุตสาหกรรม ¹	กรมควบคุม มลพิษ ²	กรมชลประทาน ³	กรมเจ้าท่า ⁴
พีเอช	5.5 – 9.0	5.5 – 9.0	6.5 – 8.5	5 – 9
บีโอดี(มก./ล.)	ไม่เกิน 60	ไม่เกิน 60	ไม่เกิน 20	-
ซีโอดี(มก./ล.)	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 4000	-	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 30	-
ทีเคเอ็น(มก./ล.)	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 100	-	-
ไขมันและน้ำมัน(มก./ล.)	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	-
ปริมาณสี	ไม่เป็นที่พึง รังเกียจ	ไม่เป็นที่พึง รังเกียจ	ไม่เป็นที่พึง รังเกียจ	-

หมายเหตุ : ที่มา “1” ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน และประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)

“2” ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม 2539 และประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ ฉบับที่ 3 (2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

“3” มาตรการป้องกันและแก้ไขการระบายน้ำที่มีคุณภาพต่ำลงทางชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ชลประทาน

“4” กรมเจ้าท่า ม.119 เรื่องห้ามระบายของเสีย ขยะมูลฝอยลงแหล่งน้ำที่กีดขวางการเดินเรือและทำลายสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้