

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาเพื่อใช้ในการกำจัดสีข้อม
ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกข้อม



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62178
วัน,เดือน,ปี 3 1 ก.ค. 2549

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of Cellulose Adsorbent from Water Hyacinth for Removal of Dye
from Textile Industry and Dying Plants Wastewater



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
Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การเตรียมตัวชุดขับเชลดูโลสจากฝักตบขวเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อม
ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม

นักศึกษา

นางสาวกรกฎ ตรงการดี รหัส 44050478

นายธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล รหัส 44050500

นางสาววนิดา ศรีเอนก รหัส 44050528

ภาควิชา

เคมี

สาขาวิชา

เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.กณิศา ตั้งคณาบุรุษย์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.นงนุช ศิวะภิญโญยศ	
กรรมการ ผศ. ดร. ชมพูนท พไชยรัศม์	
กรรมการ ผศ.กณิศา ตั้งคณาบุรุษย์	

(ผศ. ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม	
นักศึกษา	นางสาวกรกฎ ตรงการดี	รหัสนี้ 44050478
	นายธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันตมิงคผล	รหัสนี้ 44050500
	นางสาววนิดา ศรีเอนก	รหัสนี้ 44050528
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ และฟอกย้อม ทดลองโดยเตรียมตัวดูดซับเซลล์โลสด้วยกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการปรับสภาพทางกายภาพ (ตัวดูดซับชนิดที่ 1) และกระบวนการปรับสภาพทางกายภาพและเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15% (ตัวดูดซับชนิดที่ 2) 20% (ตัวดูดซับชนิดที่ 3) และ 25% (ตัวดูดซับชนิดที่ 4) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยแปรค่าพีเอช ปริมาณตัวดูดซับเซลล์โลส เวลาสัมผัส และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม พบว่า ตัวดูดซับชนิดที่ 2 มีประสิทธิภาพการดูดซับดีกว่า (97.29%) ตัวดูดซับชนิดอื่นๆ และพบว่าเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นที่หมู่ไฮดรอกซิลของตัวดูดซับเซลล์โลส โดยศึกษาด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) และเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) ดังนั้นตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาจากโครงการพิเศษนี้สามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในการบำบัดสีย้อมชนิดอื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ : การดูดซับ สีย้อมเมธิลีนบลู ตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวา

Special Project Title	Preparation of Cellulose Adsorbent from Water Hyacinth for Removal of Dye from Textile Industry and Dying Plants Wastewater.	
Name	Miss Korrakod Trongkarmdee	ID 44050478
	Mr. Theeradit Phothitontimongkol	ID 44050500
	Miss Wanida Srianek	ID 44050528
Department	Chemistry, Bachelor of Science	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2004	
Special Project Advisor	Asst.Prof. Kanita Tungkananuruk	

ABSTRACT

This project is aimed to study the preparation of cellulose adsorbent from water hyacinth to removal dye from textile industry and dying plants wastewater. Two preparation processes used in this experiment to obtain dried cellulose powder were 1). using only physical pretreatment (adsorbent 1) and 2). using physical and chemical pretreatment with 15% (adsorbent 2) 20% (adsorbent 3) and 25% (adsorbent 4) W/V sodium hydroxide solution. Then the optimum adsorption condition were studied by varying the experimental parameters, such as the pH, weight of cellulose adsorbent, contact time and initial dye concentration. It was found that the cellulose adsorbent to was more effective (97.29%) than the other cellulose adsorbents. The occurred adsorption process at hydroxyl groups of cellulose adsorbents is determined by Fourier Transform Infrared spectrometer and Scanning Electron Microscopy. Therefore, the cellulose adsorbent from water hyacinth from this project can be considered as a adsorbent to removal of dye application.

Keyword : Adsorption Methylene Blue Cellulose Adsorbents from Water Hyacinth

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ จะสำเร็จลุล่วงมิได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.นงนุช สีวะภิญโญยศ และ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่กรุณาเป็น กรรมการตรวจสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ และคำปรึกษาที่ดี ตลอดระยะเวลา 4 ปี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ธุรการ และแม่บ้าน ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือและความสะดวกในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ พี่นักศึกษาบ.โท ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปการะ รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่ติดขัดตลอดมา

ขอขอบคุณ เพื่อนๆเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม และเคมีอุตสาหกรรม ปี4 ทุกคนที่ให้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่สนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำจนประสบความสำเร็จในด้านการศึกษา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมาย ที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวกรกฎ ตรงการดี

นายธีรดิษฐ์ โพรตันติมงคล

นางสาววนิดา ศรีเอนก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ผักตบชวา	4
2.2 เซลลูโลส	9
2.3 สีข้อม	14
2.4 การดูดซับ	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	25
3.2 สารเคมี	25
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่มีต่อการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมธิลีนบลูด้วยตัวดูดซับ เซลลูโลส	33
4.3 ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาที่เหมาะสมต่อตัวดูด ซับเซลลูโลส	34
4.4 ผลการศึกษาเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ	36
4.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับ	38
4.6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลส	40
4.7 ผลการศึกษาลักษณะการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลส	42
4.8 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสแต่ละชนิด ณ สภาวะที่กำหนด	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีและมาตรฐาน	56
ภาคผนวก ข มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคม อุตสาหกรรม	58
ภาคผนวก ค การคำนวณ	61
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดลอง	62
ภาคผนวก จ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของเส้นใยฝักตบชวา	5
2.2 องค์ประกอบของฝักตบชวาแห้ง	6
4.1 ผลค่าการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุดที่ค่าพีเอชต่างๆกัน	32
4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่มีค่าพีเอชต่างๆกัน	33
4.3 ค่าประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่ปริมาณตัวดูดซับ เซลลูโลสต่างๆกัน	35
4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่เวลาสัมผัสต่างๆกัน	36
4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆกัน	38
4.6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูของตัวดูดซับ เซลลูโลสแต่ละชนิดแบบ Freundlich	40
4.7 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสแต่ละชนิด ณ สภาวะที่กำหนด	49
4.8 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับ เซลลูโลส ณ สภาวะที่กำหนด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี T-Test	51

สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของผักตบชวา	4
2.2 การแยกองค์ประกอบในเซลล์พืช	7
2.3 ลักษณะของไมโครไฟบริลในแต่ละชั้นของผนังเซลล์	9
2.4 โครงสร้างของโมเลกุลเซลลูโลส	10
2.5 Intramolecular Hydrogen Bond และ Inter-Chain Hydrogen Bond ในโครงสร้างของเซลลูโลส	10
2.6 การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลส	11
2.7 วิธีการในการปรับสภาพวัตถุดิบ	13
2.8 โครงสร้างสี่อ้อมเมธิลดีนบลู (MB)	15
2.9 โมเลกุลมีขั้ว-โมเลกุลมีขั้ว	18
2.10 ไม่มีขั้ว-ไม่มีขั้ว	18
2.11 โมเลกุลมีขั้ว-ไม่มีขั้ว	18
2.12 ลักษณะของ Freundlich Isotherm ในรูปของกราฟเส้นตรง	21
4.1 ค่าการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายสี่อ้อมเมธิลดีนบลู	33
4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสี่อ้อมเมธิลดีนบลูที่ค่าพีเอชต่างๆกัน	34
4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสี่อ้อมเมธิลดีนบลูที่ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสต่างๆกัน	35
4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสี่อ้อมเมธิลดีนบลูที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน	37
4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสี่อ้อมเมธิลดีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆกัน	39
4.6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายสี่อ้อมเมธิลดีนบลูของตัวดูดซับเซลลูโลสแต่ละชนิดแบบ Freundlich	41
4.7 a ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 1 A คือ ไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ	42
4.7 b ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 2 A คือ ไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ	43
4.7 c ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 3 A คือ ไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ	43

สารบัญรูปลภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 d ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 4 A คือ ไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ	44
4.8 a ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 1 และไม่ผ่านการดูดซับ	45
4.8 b ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 2 และไม่ผ่านการดูดซับ	45
4.8 c ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 3 และไม่ผ่านการดูดซับ	46
4.8 d ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 4 และไม่ผ่านการดูดซับ	46
4.8 e ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 1 และผ่านการดูดซับ	47
4.8 f ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 2 และผ่านการดูดซับ	47
4.8 g ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 3 และผ่านการดูดซับ	48
4.8 h ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 4 และผ่านการดูดซับ	48
4.9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละสถานะที่กำหนด	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ในขณะเดียวกันการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมนั้น ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดมลภาวะทางแหล่งน้ำ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม ได้แก่ ความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำ การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ และสภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้จะมีสิ่งปนเปื้อนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ประเภทสี ย้อมและสารอินทรีย์อื่นๆ

การกำจัดน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อมทำได้หลายวิธี เช่น การย่อยสลายด้วยวิธีทางชีววิทยา การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนด้วยสารเคมี การออกซิไดส์ และการดูดซับ โดยวิธีที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งคือ วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) แต่วิธีนี้มีข้อเสียเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างสูงและการนำกลับมาใช้ใหม่ต้องใช้เวลาและทำได้ยาก [8]

นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการค้นพบตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสี ย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อมสูงกว่า ราคาถูก และการฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ทำได้ง่ายกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุบางชนิด [11] และยังสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ [9] ซึ่งเป็นการช่วยลดมลพิษทั้งที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารไปพร้อมกัน โดยตัวดูดซับดังกล่าวนี้ผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและเป็นวัสดุที่พบทั่วไปตามแหล่งน้ำคือ ผักตบชวา

งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำผักตบชวา ซึ่งเป็นพืชที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก (ประมาณ 50%) ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสนี้จะมีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) 3 หมู่ ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกกับไฮโดรเจนได้ดี และสามารถเพิ่มหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ได้ง่าย และประกอบกับความมีรูพรุนของเส้นใยเซลลูโลสในผักตบชวา [3] โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการผลิตตัวดูดซับเซลลูโลส (Cellulose Adsorbent) จากเส้นใยเซลลูโลสในผักตบชวาโดยจะมีการนำผักตบชวามาทำให้เป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมชนิดเบสิก ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นอนุภาคเซลลูโลสขนาดเล็ก พื้นผิวสูง และมีรูพรุนจากผักตบชวา
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีของตัวดูดซับเซลลูโลสที่ผลิตได้
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาวิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นอนุภาคเซลลูโลสขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูง และมีรูพรุนจากผักตบชวา โดยใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope) และเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer)
- 1.3.2 ศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายสีข้อมเบสิก โดยแปรค่าพีเอชเป็น 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ
- 1.3.3 ศึกษาผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูด้วยตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวา โดยแปรค่าพีเอชเป็น 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ
- 1.3.4 ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู โดยแปรค่าปริมาณตัวดูดซับเป็น 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตามลำดับ
- 1.3.5 ศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู โดยแปรค่าเวลาสัมผัสเป็น 60 120 180 240 300 360 420 480 540 600 660 และ 720 นาที ตามลำดับ
- 1.3.6 ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู โดยแปรค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 50 100 150 200 250 300 350 400 450 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- 1.3.7 ศึกษาไอโซเทอมร์การดูดซับของการดูดซับโดยใช้สมการ Freundlich

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นการนำวัชพืชมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในการช่วยลดสารมลพิษในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อมก่อนปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม
- 1.4.2 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสที่ผลิตได้จากผักตบชวา
- 1.4.3 ทราบถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการดูดซับ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารมลพิษทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารจากแหล่งน้ำแหล่งอื่นๆได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ผักตบชวา

ผักตบชวา [Water Hyacinth , Eichhornia Crassipes(Mart.) Soloms.] เป็นพืชน้ำซึ่งจัดเป็นพืชประเภทไบเลียงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ Pontederiaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ พบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2367 โดย Karl Von Matius และมีการขยายพันธุ์ไปยังประเทศในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน ก่อให้เกิดปัญหามากมายในด้านการกำจัด ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วยเนื่องจากการนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซียในปี พ.ศ. 2444 พบว่าปัจจุบันมีการแพร่กระจายของผักตบชวาอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำต่างๆ ในหลายจังหวัดทั่วประเทศ

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา (6)

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำข้ามปี ประกอบด้วยลำต้นที่มีหัวราก (Rhizomatous System) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-6 เซนติเมตร และยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ลำต้นมีสีม่วงแดงมีขนาดแตกต่างกัน ประกอบด้วยกลุ่มใบเรียงกันเป็นกลีบชั้น (Rosettes) ก้านใบมีลักษณะกลมพองออก ภายในมีเนื้อพรุนคล้ายฟองน้ำเป็นเครื่องพองให้ต้นลอยน้ำได้ ผักตบชวามีระบบรากเป็นรากฝอย โดยแตกออกจากข้อบนลำต้น มีความยาวตั้งแต่ 10-90 เซนติเมตร และมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซึมธาตุอาหารต่างๆ ที่ปะปนในน้ำ ส่วนดอกมีสีม่วงที่ลักษณะเป็นช่อดอกมีประมาณ 6-12 ดอก (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของผักตบชวา

ส่วนประกอบของผักตบชวาดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย

1. แผ่นใบ 2. ท่อนพวงลำต้น 3. ลิเกวล์ 4. เหง้า 5. ขนราก 6. หมวกราก 7. ลำต้น

ผักตบชวาจัดเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้เร็วที่สุด โดยสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่ใช้เพศ (Vegetative Propagation) และแบบใช้เพศ (Sexual Reproduction) แต่โดยทั่วไปมักจะขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อเป็นต้น โดยสามารถเพิ่มการครอบคลุมพื้นที่ได้เป็น 2 เท่า ทุกระยะเวลา 62 วัน หรือเพิ่มจำนวนจาก 10 ต้น เป็น 6 แสนต้น ภายในเวลา 8 เดือน สำหรับการขยายพันธุ์โดยใช้เพศจะผสมเกสรภายในตัวเอง (Self Pollination) แต่บางครั้งสามารถผสมข้ามต้นได้ โดยจะเกิดขึ้นเฉพาะในฤดูแล้งเท่านั้น

2.1.2 คุณสมบัติของสัณยผักตบชวา [3]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของสัณยผักตบชวา

ลักษณะ	ค่าเฉลี่ย
เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	0.80-1.20
ความดุ้งจำเพาะ	0.428
ปริมาณความชื้น (%)	8.44
การดูดซึมน้ำ (%)	38.8

จากตารางที่ 2.1 พบว่าสัณยผักตบชวาสามารถดูดความชื้นในอากาศได้ดีและดูดซึมน้ำได้สูง

เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่โตเร็ว จึงก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ต่อแหล่งน้ำ ปัจจุบันจึงมีการดำเนินการควบคุมได้ 2 วิธีการหลัก คือ

2.1.2.1 การทำลายโดยตรง ได้แก่ การใช้สารเคมี การใช้วิธีกล และการใช้วิธีชีวภาพ

2.1.2.1.1 การใช้สารเคมี สารเคมีที่ใช้มีหลายชนิด เช่น Dalapon, Diquat, Paraquat เป็นต้น เป็นวิธีได้ผลรวดเร็วแต่ก่อให้เกิดปัญหาทางมลภาวะ โดยสารเคมีสามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำตลอดจนการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

2.1.2.1.2 การใช้วิธีกล โดยการใช้แรงงานคน หรือ เครื่องจักรกล วิธีการนี้มีปัญหาคือ สิ้นเปลืองแรงงานและเสียเวลามาก เหมาะสำหรับการใช้ในพื้นที่แคบๆ เท่านั้น

2.1.2.1.3 การใช้วิธีชีวภาพ โดยการใช้แบคทีเรีย รา ไวรัส และแมลง เป็นต้น แม้ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อย แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จถึงขั้นมาใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งต้องคำนึงถึงปัญหาด้านค่าใช้จ่ายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

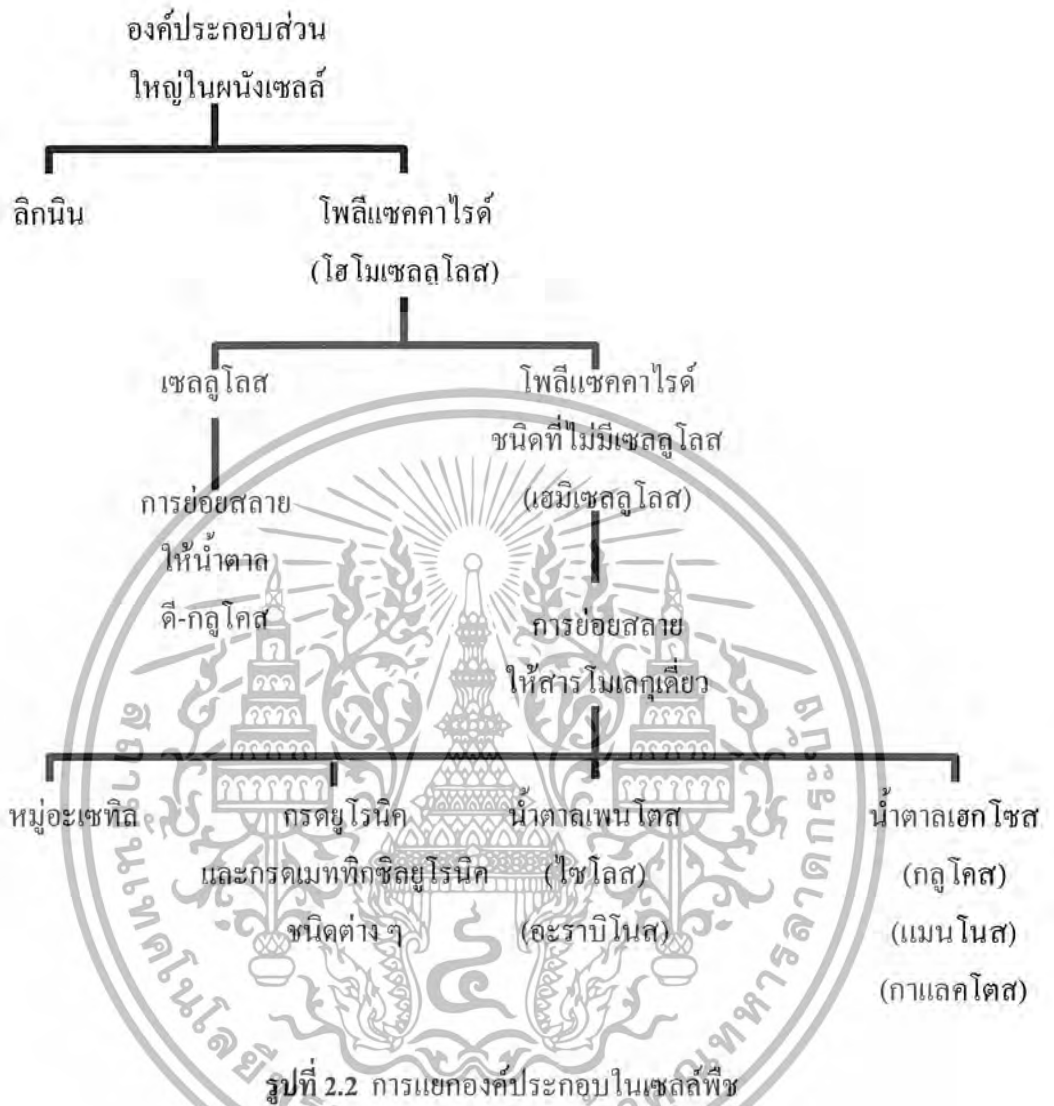
2.1.3 องค์ประกอบของผักตบชวา [6]

ต้นผักตบชวา 100 กิโลกรัม หลักจากตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักของกากแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด จากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบพบว่า ผักตบชวาประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และแร่ธาตุต่าง ๆ (ดังแสดงในตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของผักตบชวาแห้ง

องค์ประกอบ	สัดส่วน(เปอร์เซ็นต์)
ลิกนิน	12-13
เซลลูโลส	43-44
เพนโตแซน	14-15
ไนโตรเจน	2.8-3.5
โซเดียม	1.5-2.5
โปแตสเซียม	2.0-3.5
แคลเซียม	0.6-1.3

ซึ่งในองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชส่วนใหญ่นั้น จะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ลิกนิน และ โพลีแซคคาไรด์ (ไฮโมเซลลูโลส) และองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ (ดังรูปที่ 2.2)



2.1.4 ประโยชน์ของผักตบชวา [3]

จากการที่ผักตบชวามีจำนวนมาก แพร่กระจายพันธุ์รวดเร็วและยากแก่การกำจัดให้หมดสิ้นไปนั้น ทำให้มีความคิดเกิดขึ้นว่าถ้าสามารถนำผักตบชวาไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ผักตบชวาจะกลายเป็นสิ่งที่มีค่ายิ่ง ดังนั้นนักวิจัยหลายฝ่ายจึงได้พยายามค้นคว้าศึกษาแสวงหาวิธีใช้ประโยชน์จากผักตบชวาในรูปแบบต่างๆ กัน คือ

- 2.1.4.1 เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ
- 2.1.4.2 เป็นวัตถุดิบในการทำเยื่อกระดาษ
- 2.1.4.3 ใช้ทดลองผลิตเส้นใยเพื่อสิ่งทอ
- 2.1.4.4 เป็นอาหารสัตว์

2.1.4.5 ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตโปรตีนเซลล์เดียว (Single Cell Protein)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูและบุคลากรทางการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.6 ใช้เป็นวัตถุดิบประกอบสำหรับเตรียมยาฆ่าแมลง

2.1.4.7 ใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.1.4.8 ใช้หมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์

2.1.4.9 ทำเป็นวัสดุเพาะเห็ด

2.1.4.10 ใช้อัดเป็นแท่งเพาะชำ

2.1.4.11 ตากแห้งและตัดแปลงเป็นเครื่องใช้ เช่น กระเป่า เปลญวน ฯลฯ

2.1.4.12 ใช้บำบัดน้ำเสียเพื่อลดมลสารที่มีอยู่ในน้ำโสโครกให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น

2.1.5 การบำบัดน้ำเสียด้วยผักตบชวาเป็นวิธีที่อาศัยคุณสมบัติต่อไปนี้คือ

2.1.5.1 ทำหน้าที่กรอง

ผักตบชวาที่กั้นหนาแน่นเปรียบได้กับการบรรจุวัสดุพรุนในกรวยกรองน้ำที่ไหลผ่านผักตบชวาอย่างช้าๆ จะทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้น และระบบรากผักตบชวาที่มีจำนวนมากจะช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด

2.1.5.2 ดูดซับสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

สารอาหารที่พืชต้องการ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ผักตบชวามีความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเช่นเดียวกัน และการกินอาหารของผักตบชวาจะใช้รากดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำลำเลียงไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสง ซึ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจัดเป็นมลสารที่ต้องการกำจัดให้หมดไป การดูดกินอาหารจากน้ำของผักตบชวาจึงเป็นการลดมลสารดังกล่าวให้น้อยลง อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้นส่วนมากจะอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic - N) แอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4\text{-N}$) และ ไนเตรตไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ซึ่งมีผู้ศึกษาว่า ผักตบชวาสามารถดูดซับสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนรูปอื่นคือ ประมาณร้อยละ 95 ในขณะที่มลสารไนเตรตไนโตรเจนและแอมโมเนียมไนโตรเจนจะลดลงประมาณร้อยละ 80 และ 77 ตามลำดับ

2.1.5.3 การลดมลสารอื่น

นอกจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้ว ผักตบชวาสามารถลดมลสารอื่น ๆ ได้

ดังนี้

คาร์บอน	28	กรัม/ตารางเมตร/วัน
โพแทสเซียม	2	กรัม/ตารางเมตร/วัน
แคลเซียม	1	กรัม/ตารางเมตร/วัน
แมกนีเซียม	0.2	กรัม/ตารางเมตร/วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียม 2 กรัม/ตารางเมตร/วัน

2.1.5.4 ลดมลสารโดยจุลินทรีย์ที่รากผักตบชวา

แบคทีเรียที่เกาะอยู่ที่รากของผักตบชวาชนิดหนึ่งคือ *Azospirillum Spp.* จัดเป็นแบคทีเรียแกรมลบชนิดต้องการออกซิเจนและมีคุณสมบัติพิเศษสามารถตรึงไนโตรเจน คุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้มีส่วนในการลดมลสารไนโตรเจนได้ดียิ่งขึ้น

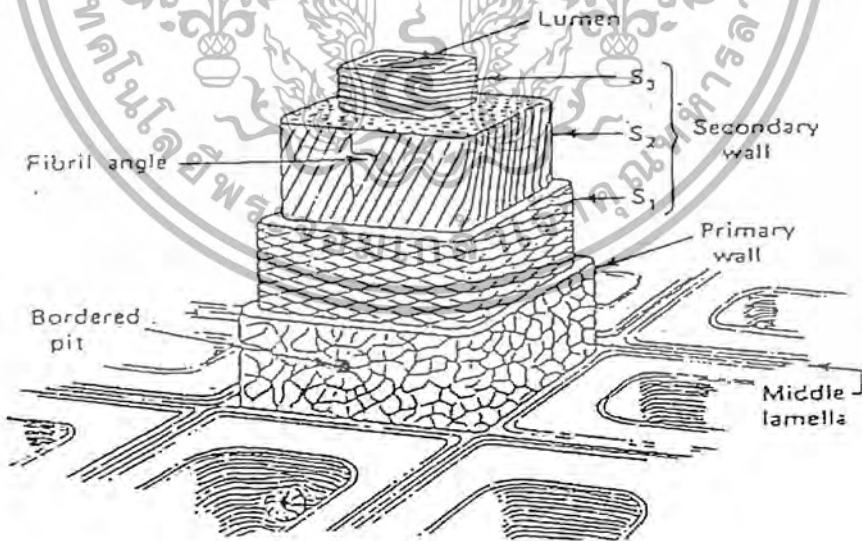
2.1.5.5 การดูดโลหะหนัก

มีผู้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของผักตบชวาในการดูดโลหะหนักจากน้ำทิ้ง ปรากฏว่าผักตบชวาสามารถกำจัดโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้เช่น แคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล เงิน โคบอลต์ สตรอนเตียม และฟีนอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังดูดสารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลงได้อีกด้วย

2.2 เซลลูโลส [1]

2.2.1 แหล่งที่มา

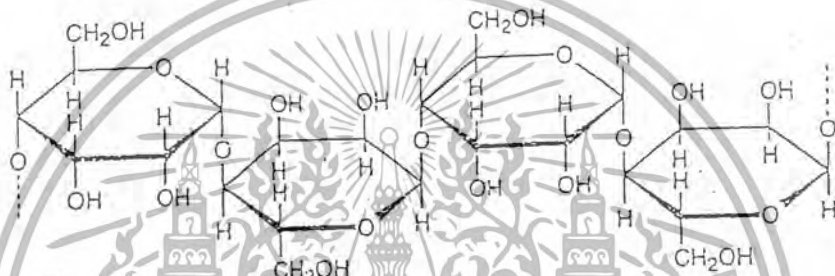
แหล่งที่มาของเซลลูโลสมีมากมาย คือ อยู่บนผนังเซลล์พืชทุกชนิด เช่น ฝ้าย พืชน้ำ เรอมนรวมไปถึงพืชชั้นต่ำเช่น มอส เฟิร์น สาหร่าย และรา ที่ผนังเซลล์ชั้นที่สองมีเซลลูโลสอยู่สูงสุด และปริมาณเซลลูโลสจะลดลงเรื่อยๆ จนมีน้อยที่สุด Middle Lamella โดยส่วนประกอบต่างๆ (ดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของไมโครไฟบริลในแต่ละชั้นของผนังเซลล์

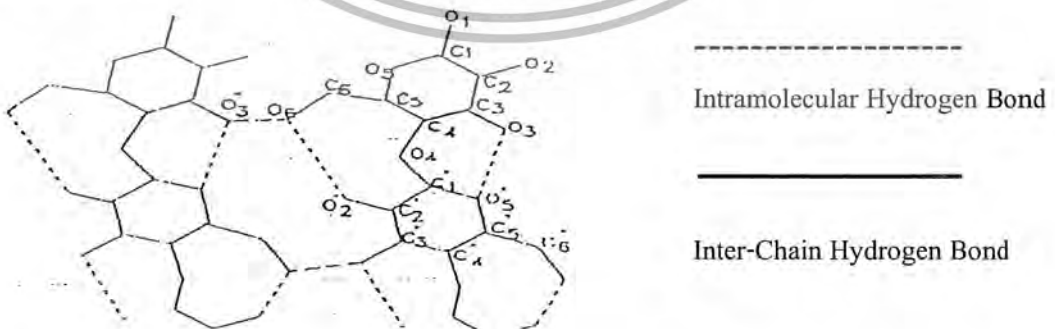
2.2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส

เซลลูโลส เป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่ไม่มีการกิ่งก้านสาขาประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันของ β -D-Anhydroglucopyranose สูตรอย่างง่ายของเซลลูโลส คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เมื่อ n เป็นจำนวนหน่วยของกลูโคสโมโนเมอร์ในสายโซ่โพลีเมอร์ ซึ่งปกติ n มีค่าตั้งแต่ 30-300 หน่วยกลูโคส ทำให้เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 50,000-500,000 โดยมีพันธะที่เชื่อมต่อแต่ละหน่วยคือ β -1,4-Glycoside Linkage ระหว่าง C_1 และ C_4 ต่อกันเป็นสายตรงโครงสร้างของโมเลกุลเซลลูโลส (ดังรูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโมเลกุลเซลลูโลส

โมเลกุลของเซลลูโลสจะเรียงขนานกันเป็นมัด เนื่องจากในแต่ละสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วย Intramolecular Hydrogen Bond ระหว่างอะตอมไฮโดรเจนบน C_3 กับ อะตอมออกซิเจนบนวงไพราโนส (O_5) แต่ละสายโซ่โมเลกุลจะเชื่อมกันด้วย Inter-chain Hydrogen Bond ระหว่างอะตอมไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิลบน C_6 และอะตอมออกซิเจนในหมู่ไฮดรอกซิลบน C_3 (ดังรูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 Intramolecular Hydrogen Bond และ Inter-Chain Hydrogen Bond ในโครงสร้างของเซลลูโลส

2.2.3 ความเป็นผลึกของเซลลูโลส

เซลลูโลสมีลักษณะการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลสองแบบคือ

2.2.3.1 ลักษณะผลึก (Crystalline) มีการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบ โซ่โมเลกุลอยู่รวมกันเป็นเส้นยาวขนานไปตามความยาวของเส้นใย

2.2.3.2 ลักษณะกึ่งผลึก (Semicrystalline) โมเลกุลบางตอนเรียงตัวกันดี บางตอนเปิดเป็นช่องว่างเกี่ยวพันกันไปมาไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า Amorphous ยึดอยู่ด้วยกัน แสดงการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล (ดังรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลส

2.2.4 สมบัติทางเคมีของเซลลูโลส

เมื่อเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดังนี้

-ปฏิกิริยาที่ทำให้เซลลูโลสพองตัวและกระจายตัวโดยไม่ทำให้เซลลูโลสยาวขึ้นหรือเปลี่ยนโครงสร้างของเซลลูโลสในเส้นใย

-ปฏิกิริยาที่ทำให้ความยาวของสายโซ่เซลลูโลสเปลี่ยนเพราะเสื่อมสภาพ

-ปฏิกิริยาที่ทำให้หมู่ไฮดรอกซี (-OH) เปลี่ยนเป็นหมู่ฟังก์ชันชนิดอื่น ๆ ได้ง่าย ทำให้เกิดอนุพันธ์ของเซลลูโลสต่างๆ เช่น Viscose Rayon Cellophane Cellulose Acetate

Cellulose Propionate Cellulose Nitrate Cellulose Ether Ethylcellulose Cyanoethylate Cellulose และ Amidoximate Cellulose เป็นต้น

ปฏิกิริยาทั้งสามชนิดนี้มักจะเกิดร่วมกันเสมอ นอกจากนี้สมบัติทั่วไปของเซลลูโลสคือทนต่อต่างแต่ไม่ทนต่อกรดเข้มข้น เฝ้าไหม้ในอากาศโดยไม่มีกลิ่นเหม็นและเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซีสามหมู่ในแต่ละหน่วยย่อยทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกกับไฮโดรเจนไอออนได้ดี

2.2.5 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

-จุดหลอมเหลว เท่ากับ 260-270 องศาเซลเซียส (สลายตัว)

-การละลายเซลลูโลสสามารถละลายได้ในกรดแก่ ได้แก่ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 60-65 % โดยน้ำหนัก กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมากกว่า 40 % โดยน้ำหนัก กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 83% โดยน้ำ

2.2.6 การปรับสภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ (Pretreatment) [6]

การปรับสภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ (Pretreatment) โดยทั่วไปแบ่งเป็น 4 วิธีการดังนี้ (ดังรูปที่ 2.7)

2.2.6.1 วิธีการทางกายภาพ (Physical Pretreatment)

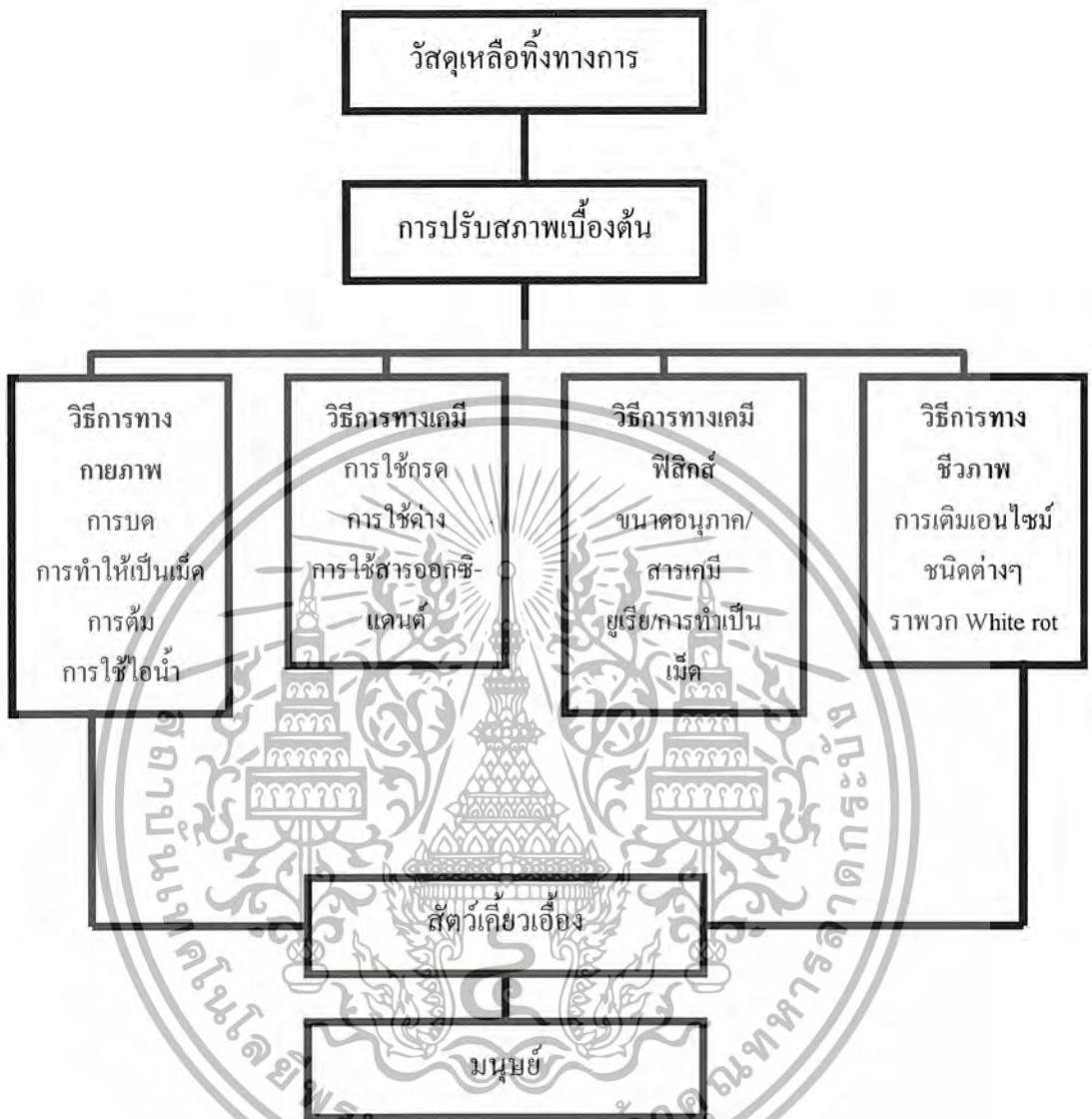
2.2.6.1.1 การใช้ความร้อนและความดัน

2.2.6.1.2 การลดขนาดของสาร โดยวิธีบดและ โม่บด

เป็นการบดผลึก (Crystalline) ของเส้นใยที่ประกอบด้วยไมโครไฟบริลจำนวนมาก ซึ่งในแต่ละไมโครไฟบริลนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline Region) ให้แตกออก เพื่อให้เอนไซม์ย่อยสลายได้ง่ายขึ้นรวมทั้งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ ทำให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น

2.2.6.1.3 กระบวนการใช้ไอน้ำความดันสูง ทำให้เส้นใยแตก (Steam Explosion Process)

หลักการ คือ การทำให้วัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบนั้นอ้อมตัวด้วยไอน้ำภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง แล้วลดความดันลงทันที ทำให้น้ำระเหยอย่างรวดเร็วซึ่งจะทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน เป็นการเพิ่มขนาดเพื่อให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยา ความชื้นและอุณหภูมิสูงจะทำให้พืชปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะเซติก มายังผลให้เกิดการกระตุ้นการย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลสให้เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ และน้ำตาลเพนโทสบางส่วนจะกลายเป็นเฟอฟูรัล รวมทั้งน้ำตาลเฮกโซสบางส่วนก็เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิล เมทซิล เฟอฟูรัล วิธีนี้จึงจะเป็นผลรวมของทั้งทางฟิสิกส์และเคมี



รูปที่ 2.7 วิธีการในการปรับสภาพวัตถุดิบ

2.2.6.2 วิธีการทางเคมี (Chemical Pretreatment) แบ่งได้เป็น

2.2.6.2.1 การใช้กรด (Acid Pretreatment)

เมื่อใช้กรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟูริก จะทำให้เฮมิเซลลูโลสละลายน้ำออกมา

2.2.6.2.2 การใช้ด่าง (Alkaline Pretreatment)

เมื่อใช้ด่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีผลทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสละลายออกมา รวมทั้งทำให้เกิดการพองตัว (Swelling) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.2.3 การใช้สารออกซิแดนต์

สารเคมีที่ใช้ได้แก่ SO_2 ตัวทำละลายชนิดอื่นๆ ที่สามารถกำจัดลิกนิน เช่น NaClO_2 , KB_2O_2 , KIO_3 , SO_3 โดยจะมีผลต่อการละลายของลิกนิน

แต่วิธีการนี้ จะทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้น โดยจะเกิดสาร Lignosulphonate ขึ้น ซึ่งไม่สามารถใช้ในการหมักได้เลยจึงต้องถูกกำจัดออกจากระบบ เป็นปัญหาเดียวกับในอุตสาหกรรม Sulphite Pulping

2.2.6.3 วิธีการทางเคมีฟิสิกส์ (Physico-Chemical Mean)

เป็นการปรับสภาพโดยใช้วิธีการทางกายภาพร่วมกับวิธีการทางเคมี เช่น การอบ และตามด้วยการใช้ความร้อน จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ของพืชได้

2.2.6.4 วิธีการทางชีวภาพ (Biological Pretreatment)

เป็นการใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์ เพื่อปรับสภาพวัตถุดิบให้ง่ายต่อการสลายเป็นน้ำตาล เช่น การใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายเซลลูโลสธรรมชาติให้เป็นสายยาว ช่วยลดความเป็นผลึกหรือใช้จุลินทรีย์พวกที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้ เป็นต้น

แต่จุลินทรีย์พวก Pleurotus, Ostreatus และ Sporotrichum Pulverulentum นี้จะมีการใช้คาร์โบไฮเดรตบางส่วนในการเจริญเติบโต และการย่อยสลายลิกนิน จึงต้องสูญเสียวัตถุดิบและน้ำตาลไปส่วนหนึ่ง จนกว่าจะลดปริมาณลิกนินได้พอที่จะใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 40% ส่วน Sporotrichum Pulverulentum ซึ่งเป็น Cellulase-Less Mutant ของพวก White Rot จะย่อยสลายเฉพาะลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเท่านั้นและจะไม่ใช้เซลลูโลส

2.3 สีย้อม (Dyes) [8]

เป็นสารที่ละลายน้ำได้ หรือสามารถทำให้ละลายน้ำได้ ดูดติดเส้นใยได้ การนำสีย้อมมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าการรวมตัวของสีกับน้ำ โดยจะต้องทำให้เกิดสภาวะที่โมเลกุลของสีย้อมจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (Bond) ยึดติดกันแน่น อิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใย คือ

- ก. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)
- ข. แรงแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's Forces)
- ค. แรงอิออนิก (Ionic Forces)
- ง. พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond)

ประเภทของสีย้อมตามการใช้งาน

- | | |
|---------------|--------------------------|
| - สีไดเรคท์ | - สีแอสิค |
| - สีรีแอคทีฟ | - สีเบสิค |
| - สีแว็ต | - สีมอร์แดนท์ หรือสีโครม |
| - สีซัลเฟอร์ | - สีย้อมอะโซอิก |
| - สีดิสเพอร์ส | - สีย้อมโลหะ |

สำหรับสีย้อมที่เราจะใช้ในการวิจัยนี้จะเป็นสีย้อมประเภท ได้แก่

สีเบสิค (Basic Dye) นิยมใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดสามารถใช้ย้อมเส้นใยอะไคริลได้ แต่ย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ติดเลย ตัวสีย้อมเป็นเกลือเบสอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ให้ไอออนบวก บางครั้งจะเรียกสีย้อมชนิดนี้ว่า “สีแคทไอออนิก” ย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุลของสีย้อมจะจับกับประจุลบของเส้นใย เส้นใยประเภทนี้มีความคงทนต่ำ นิยมใช้กันในประเทศแถบตะวันออก ที่นิยมความสดใสของสีมากกว่าความคงทน ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้สีย้อมเมริลีนบลูเป็นตัวแทนของสีเบสิค (ดังรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างสีย้อมเมริลีนบลู (MB)

2.3.1 แหล่งกำเนิดและลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม [8]

2.3.1.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

2.3.1.1.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมผ้า

- กระบวนการต้มเป้ง เป็นการกำจัดเป้งที่ติดมากับกระบวนการทอ ออกจากการต้มเป้งเป็นการทำให้เป้งสลายตัวเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้
- กระบวนการทำความสะอาด เป็นการเอาสิ่งสกปรกที่ติดมากับเส้นใยออกก่อนที่

-กระบวนการฟอกขาว เป็นการกำจัดสีธรรมชาติของเส้นใยออกโดยใช้สารเคมี คือ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ กระบวนการนี้จะทำก่อนการย้อมเพื่อให้สีติดดียิ่งและสีไม่เปลี่ยน

-กระบวนการชุบมัน เป็นการทำให้ผ้าเพิ่มความมันและดูดสีได้มากขึ้นและสีไม่เปลี่ยน

- กระบวนการย้อมสี และการตกแต่งพิเศษ

- กระบวนการพิมพ์ผ้า

2.3.1.1.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำจะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรงจะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อมและถูกรวมเป็นน้ำเสีย

2.3.1.1.3 น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.3.1.1.4 น้ำที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดโรงงาน

2.3.1.2 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่มาจากโรงงานต่าง ๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยที่นำมาย้อมและการใช้กระบวนการย้อมที่แตกต่างกัน โดยลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

2.3.1.2.1 มีปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากมีค่า BOD COD ที่สูง ปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมได้แก่ แป้ง สีย้อม เส้นใย และด้ายที่ปนออกมากจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง ไหม้น และตัวทำละลายต่างๆ

2.3.1.2.2 มีความเป็นด่างสูง สารที่ทำให้น้ำมีลักษณะความเป็นด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต

2.3.1.2.3 มีอุณหภูมิสูง

2.3.1.2.4 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง ซึ่งมาจากเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ

2.3.1.2.5 มีสีเข้มมากเนื่องมาจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้า

2.3.1.2.6 มีโลหะเจือปน โลหะหนักนี้จะมาจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้า โดยส่วนใหญ่จะเป็นโลหะพวกทองแดง โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสี

2.3.1.2.7 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

2.3.1.3 ประเภทสิ่งปนเปื้อนที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย จำแนกออกได้ดังนี้

2.3.1.3.1 สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วนที่เหลือจะยังคงอยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทที่ใช้

2.3.1.3.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย้อม สารเคมีเหล่านี้จะมีอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสีย

2.3.1.3.3 เศษเส้นใย

2.3.1.4 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

โดยทั่วไปมลภาวะที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

2.3.1.4.1 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากน้ำย้อมผ้ามักมีสารที่มีพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบอนินดิน

2.3.1.4.2 การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และใช้ในการทำปฏิกิริยาล้างสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท

2.3.1.4.3 ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดความรู้สึกรังเกียจต่อผู้พบเห็นทำให้ลำน้ำไม่น่าดู นอกจากนี้สีย้อมที่มีความเข้มข้นสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

2.4 การดูดซับ (Adsorption) [8]

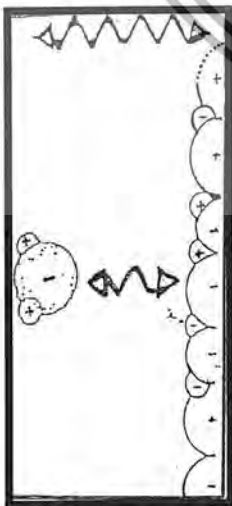
คือ กระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลของสารหนึ่งยึดติดอยู่กับผิวของสารอีกสารหนึ่ง สารที่ไปยึดเกาะอยู่ผิวหน้าเรียกว่า “ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate)” ส่วนสารที่ตัวถูกดูดซับไปเกาะ เรียกว่า “ตัวดูดซับ (Adsorbent)” ปริมาณการดูดซับจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ พื้นผิวและขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้ในการแยกสารหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น

2.4.1 ประเภทของการดูดซับ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้าของตัวดูดซับจะเป็นแรงค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล เป็นต้น โดยที่โมเลกุลที่ถูกดูดซับจะมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนเดิม

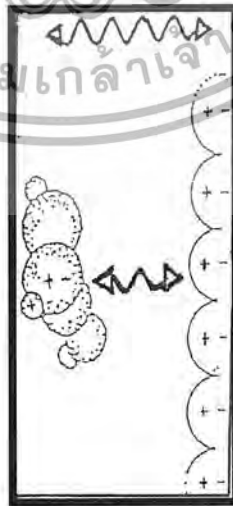
ลักษณะการเกาะจับด้วยแรงทางกายภาพเกิดจากผล 3 ลักษณะดังนี้

1. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่ (ดังรูปที่ 2.9)
2. เกิดจากหลักการที่ว่าโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านหนึ่งมาก และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอ่อน ๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วทั้งคู่ (ดังรูปที่ 2.10)
3. เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลมีขั้วและ โมเลกุลของตัวดูดซับเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (ดังรูปที่ 2.11)



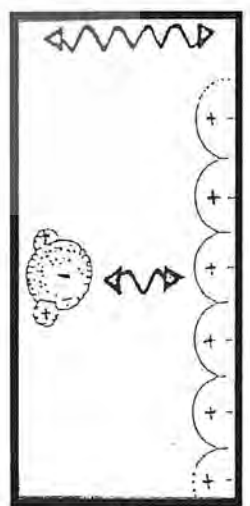
รูปที่ 2.9

โมเลกุลมีขั้ว-โมเลกุลมีขั้ว



รูปที่ 2.10

ไม่มีขั้ว-ไม่มีขั้ว



รูปที่ 2.11

โมเลกุลมีขั้ว-ไม่มีขั้ว

2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) จะเกี่ยวข้องกับแรงหรือพันธะทางเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยา การเกาะของตัวถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับจะเหมือนแรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวกันระหว่างอะตอมภายในโมเลกุล การดูดซับทางเคมีบางครั้งต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.4.2.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง

2.4.2.2 ขนาดของตัวดูดซับ

ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลงซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน ขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลกับความสามารถในการดูดซับ

2.4.2.3 ผลของอุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

2.4.2.4 เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้ จะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสม จะต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนจะนำไปใช้งานจริง

2.4.2.5 ความปั่นกววน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้ความ

หนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรง จะเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.4.2.6 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชของสารละลาย เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของ ไอออน และการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับ

2.4.3 แบบจำลองสมการการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (Models for Adsorption Isotherm)

[2]

2.4.3.1 Freundlich Isotherm เป็นสมการสำหรับการดูดซับที่นิยมกันมากที่สุด โดยมีการพัฒนามาจาก Langmuir Isotherm ใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง และมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

$$q_e = x/m = K_f C_e^{1/n}$$

โดยที่

X/m = น้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg/g)

$1/n$ = ความชันของกราฟ

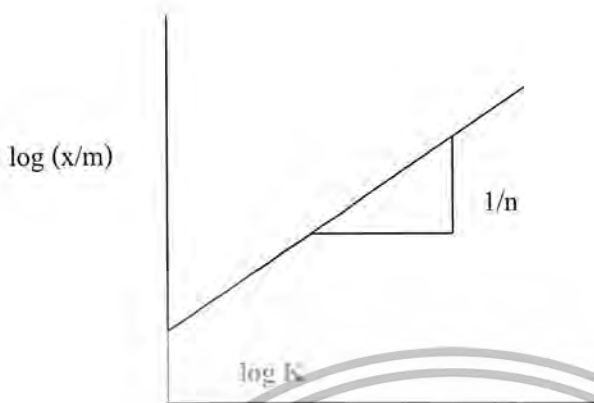
K_f = ค่าคงที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล (mg/L)

จากนั้นจัดรูปสมการในรูปของ log จะได้เป็น

$$\log (X/m) = \log K + (1/n)\log C_e$$

จากสมการจะเห็นว่าอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง โดยแกน y คือ $\log (X/m)$ แกน x คือ $\log C_e$ ของสารจะได้ค่า Slope เป็น $1/n$ และ y- intercept คือค่า $\log K$ (ดังรูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 ลักษณะของ Freundlich Isotherm ในรูปของกราฟเส้นตรง

หากค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ มีค่าสูงแสดงว่าความสามารถในการดูดซับนี้จะขึ้นกับความเข้มข้น เช่น หากความเข้มข้นต่ำความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงกันข้ามเมื่อความเข้มข้นสูงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นางสาวกนกอร สันสาข และนางสาวเฉลิมขวัญ ชาวปิง [1]: ศึกษาการบำบัดสีย้อมชนิด แอซิด และรีแอคทีฟ และ โลหะหนัก $Cu(II)$ และ $Co(II)$ ไอออน ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้สำลิตีที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างด้วยวิธีการต่อกิ่ง (Graft) ของสำลิตีกับ (1) Glycidyl Methacrylate (GMA) และทำปฏิกิริยา Aminoization กับ Ethylene Diamine (2) Acrylic acid (AA) โดยในการต่อกิ่งนั้นทำผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ของไฮโอคาร์บอนีนกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากพบว่า หมู่ไฮดรอกซี (-OH) ในโครงสร้างของสำลิตีนั้นมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีหลายๆ ชนิด

การแลกเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซี (-OH) ที่อยู่ภายในสำลิตีกับไกลซิดิลเมทาคริลเลตผ่านปฏิกิริยา Vinyl Graft Copolymerization เป็นสำลิตีที่มีหมู่ฟังก์ชัน Free Epoxy ring จากนั้นเมื่อนำมาทำปฏิกิริยา Aminization กับ Ethylene diamine จะได้หมู่สำลิตีที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น Primary Amine ส่วนสำลิตีที่นำมาทำปฏิกิริยากับ Acrylic Acid จะได้สำลิตีที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก ซึ่งพบว่าหมู่

ฟังก์ชันเอมีน และคาร์บอกซิลิก ที่เกิดใหม่นี้จะช่วยให้สำลีสัมฤทธิ์ในการกำจัดสีข้อมและโลหะหนักได้มากขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สีข้อมชนิดแอซิด และรีแอกทีฟ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเป็นดังนี้ Aminized GMA > AA > สำลีสรรพชาติ ส่วนในการกำจัดโลหะหนัก Cu(II) และ Co(II) ไอออน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดออกเป็นดังนี้ Aminized GMA > AA > สำลีสรรพชาติ

นางสาวราตรี ปิ่นทอง และคณะ [8] : ศึกษาการดูดซับสารละลายสีข้อมเมทิลีนบลู และสีข้อมคอนโกเรด โดยใช้ต้นข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย การทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ศึกษาความสามารถในการดูดซับควบคุมอุณหภูมิที่ 35 °C พบว่าต้นข้าวโพดมีความสามารถในการดูดซับดีกว่าต้นมันสำปะหลัง และสีข้อมเมทิลีนบลู ถูกดูดซับได้ดีกว่าสีข้อมคอนโกเรด ผลการทดลองเป็นไปตามแบบจำลอง Langmuir Isotherm การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเร็วรอบในการปั่นกววน (350 450 และ 500 รอบต่อนาที) ขนาดของตัวดูดซับ (20-60 เมช และ 60-100 เมช) ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีข้อม (100 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร) และอุณหภูมิในการดูดซับ (25 35 และ 45 °C) พบว่าความเร็วรอบในการปั่นกววนและขนาดของตัวดูดซับมีผลน้อยมากต่อการดูดซับ อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมเพิ่มขึ้นพบว่าอัตราการดูดซับและความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการดูดซับสูงขึ้นอัตราการดูดซับจะสูงขึ้น และความสามารถในการดูดซับของต้นมันสำปะหลังจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ความสามารถในการดูดซับของต้นข้าวโพดจะลดลง จากผลการศึกษาดังกล่าวสรุป พบว่าเป็นไปตามแบบจำลองการดูดซับอันดับสอง และค่า E_a ของสีข้อมเมทิลีนบลูจะต่ำกว่าสีข้อมคอนโกเรด

นางสาววิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ [10] : ศึกษาการใช้กากคอกกระเจียบและเปลือกถั่วเหลืองเพื่อผลิตเซลล์ูโลสผง ซึ่งเปลือกถั่วเหลืองและกากคอกกระเจียบนี้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรจัดเป็นแหล่งใยอาหารธรรมชาติที่มีปริมาณใยอาหารสูงประกอบด้วยใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ 1.66 และ 44.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การสกัดและแยกส่วนเซลล์ูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของใยอาหารชนิดนี้สามารถทำได้ด้วยวิธีการทางเคมี โดยสารละลายสกัดจะทำหน้าที่แยกสารที่สามารถละลายได้ออกจากส่วนที่ไม่ละลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นเซลล์ูโลส เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์ อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °ซ และบดให้ละเอียดจะได้ผลิตภัณฑ์เซลล์ูโลสมีลักษณะเป็นผง ผลการทดลองพบว่า การสกัดด้วยสารละลายด่าง (NaOH) ที่ระดับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 12 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์จากเปลือก ถั่วเหลืองและกากดอกกระเจี๊ยบ คิดเป็น 39.16 และ 26.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูงโดยมีปริมาณเซลลูโลสมากกว่า 96 เปอร์เซ็นต์ การตรวจสอบลักษณะ เซลลูโลสผงที่ได้ด้วยเทคนิค SEM พบว่าเซลลูโลสจากเปลือกถั่วเหลืองส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น ท่อนรูปทรงกระบอกผิวค่อนข้างเรียบมีรูพรุนเล็กน้อย ส่วนเซลลูโลสจากกากดอกกระเจี๊ยบมี รูปทรงไม่แน่นอนและมีรูพรุนมากนอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของ เซลลูโลส เพื่อเป็นข้อมูลในการผลิตเซลลูโลสบริสุทธิ์สำหรับการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของ อาหาร

นางสาววิภาดา นวลทวี และนางสาวศรีประภา กล้วยไม้ ณ อุษยา [11] : ศึกษาการดูดซับสี ไตรเรทซ์ของผงผักตบชวา ซึ่งได้แก่สี Sirius Orange KCF (CI 40215), สี Sirius Red F3B (CI 35780), สี Sirius Red Violet RL (CI 25410), สี Sirius Blue SBRR (CI 34140) ทำการศึกษาถึงขั้นกำหนด อัตรา (Rate Determining Step) พบว่ามี 2 ขั้นรวมกัน ได้แก่

1. External Mass Transfer ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วในขั้นนี้ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้น (ยกเว้นสี Sirius Orange KCF) และความเร็วรอบและค่าพีเอช
2. Intraparticle Diffusion ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วในขั้นนี้ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้น และ ค่าพีเอช ซึ่งทุกสีจะมีผลเหมือนกัน

การศึกษา Adsorption Isotherm โดยวิธีของ Langmuir และ Freundlich ทั้งสองวิธีมีความ เหมาะสมในการหาค่าคงที่ในการดูดซับ ทำโดยเปรียบเทียบตัวดูดซับสองชนิด ระหว่างผักตบชวา กับถ่านไม้ไผ่ไคโกลกพบว่าผักตบชวามีการดูดซับสูงกว่า ยกเว้นสี Sirius Orange KCF ที่ความ เข้มข้นเริ่มต้น 25.00 ppm ถ้าต้องการให้สีที่บำบัดมีความเข้มข้นออกมาน้อยกว่า 4.00 ppm ถ่านไม้ ไคโกลกจะมีประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อดูโครงสร้างสีพบว่า Sirius Red F3B จะมีโครงสร้างใหญ่ที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยที่สุด ส่วนสีชนิดอื่นจะมีประสิทธิภาพการดูดซับใกล้เคียงกัน

การฟื้นฟูคุณภาพ (Regeneration) ของผักตบชวาทำได้ง่ายใช้เพียงสารละลายเมธานอล 50% หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 11.0 ก็สามารถล้างสีออกมาได้ 50% ของสีที่ค้างอยู่บน ผักตบชวา แต่ต้องใช้เวลาอย่างน้อยกว่า 220 นาที ยกเว้นสี Sirius Red F3B ซึ่งต้องใช้เวลาถึง ประมาณ 150 นาที ดังนั้นการนำผงผักตบชวาใหม่มาใช้แทนการฟื้นฟูคุณภาพผักตบชวาที่ใช้แล้วจะ เหมาะสมกว่า

M.A. Al-Ghouti และคณะ [16] : ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และกลไกการดูดซับของไดอะตอมเอเชียสเอร์ท์ (ไดอะตอมไมท์) เพื่อใช้ขจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอ โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพของไดอะตอมไมท์ ได้แก่ ค่าพีเอชของสารละลาย (pH_{Solution}) ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ค่าพีเอชของสารละลายที่มีค่าประจุเท่ากับศูนย์ (pH_{ZPC}) และความหนาแน่นของประจุที่ผิว (Surface Charge Density) ด้วยวิธีแอลคาไลน์เมตริกไทเทรชัน (Alkalimetric Titration Method) และพื้นที่ผิว (Surface Area) ด้วยวิธีเซียร์ (Sear Method) จากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของไดอะตอมไมท์กับสีย้อม 3 ชนิด ได้แก่ สีย้อมเมทิลีนบลู (MB) สีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค (RB) และสีย้อมรีแอคทีฟเฟลโลว (RY) โดยแปรค่าพีเอชของสารละลายเป็น 2-11 และศึกษากลไกการดูดซับของไดอะตอมไมท์ที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมด้วยเทคนิคฟลูเรียรัทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FTIR Technique) และสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของสารละลายมีค่าเท่ากับ 8.2 ค่าพีเอชของสารละลายที่มีค่าประจุเท่ากับศูนย์มีค่าเท่ากับ 5.4 และค่าพื้นที่ผิวมีค่าเท่ากับ 27.8 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับการดูดซับของสีย้อมบนไดอะตอมไมท์พบว่า ค่าพีเอชมีผลต่อการดูดซับ กล่าวคือ สีย้อมเมทิลีนบลูซึ่งเป็นสีย้อมชนิดแคทไอออนิก (Cationic Dyes) จะดูดซับได้ดีเมื่อค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้น (ค่าพีเอชประมาณ 11) สำหรับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค และรีแอคทีฟเฟลโลว ซึ่งเป็นสีย้อมชนิดแอนไอออนิก (Anionic Dyes) จะดูดซับได้ดีเมื่อค่าพีเอชมีค่าลดลง (ค่าพีเอชประมาณ 3) และยังพบว่าขนาดอนุภาคของไดอะตอมไมท์ มีผลน้อยมากต่อการดูดซับ

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 ตู้อบ
- 3.1.2 เดสซิเคเตอร์
- 3.1.3 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.1.4 เครื่องกวนสารละลาย และแท่งแม่เหล็ก
- 3.1.5 เครื่องปั่น
- 3.1.6 เครื่องแก้ว
- 3.1.7 เครื่องปั่นเหวี่ยง รุ่น EBA 8s ยี่ห้อ HETTICH
- 3.1.8 เครื่องเขย่า รุ่น SGM-300 ยี่ห้อ GALLENKAMP
- 3.1.9 เครื่องวัดพีเอช รุ่น MODEL 215 ยี่ห้อ DENVER INSTRUMENT
- 3.1.10 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 6405 ยี่ห้อ JENWAY
- 3.1.11 เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป รุ่น 1455 VP ยี่ห้อ LEO
- 3.1.12 เครื่องฟลูออโรสเปกโตรมิเตอร์รุ่น SPECTRUM ยี่ห้อ PERKINELMER

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 ฟงลีเบสสิก (Methylene Blue)
- 3.2.2 กรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์
- 3.2.3 กรดไฮโดรคลอริกเกรดการค้า
- 3.2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดวิเคราะห์
- 3.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดการค้า

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 วิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวา (Cellulose Adsorbent)

3.3.1.1 วิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาโดยกระบวนการทางกายภาพ (ตัวดูดซับชนิดที่ 1)

3.3.1.1.1 นำผักตบชวาส่วนลำต้นมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมา

ปอกเปลือกออก และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ตามทางให้มีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเซอร์ไอเซนดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 0.2 เซนติเมตร นำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1-2 วัน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียด [3]

3.3.1.2 วิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาโดยกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี

3.3.1.2.1 วิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาโดยปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% (ตัวดูดซับชนิดที่ 2)

3.3.1.2.1.1 ทำการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.3.1.1

3.3.1.2.1.2 นำผักตบชวาจากข้อ 3.3.1.2.1.1 ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนัก [5] ในบีกเกอร์ขนาด 3,000 มิลลิลิตร ให้มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที [13] แล้วนำผักตบที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

3.3.1.2.1.3 นำผักตบชวาที่ได้จากข้อ 3.3.1.2.1.2 ไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15% ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำผักตบชวาที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

3.3.1.2.1.4 นำผักตบชวาที่ได้จากข้อ 3.3.1.2.1.3 ไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15% ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำผักตบชวาที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน [14]

3.3.1.2.1.5 นำผักตบชวาที่ได้จากข้อ 3.3.1.2.1.4 มาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น

3.3.1.2.2 วิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20% (ตัวดูดซับชนิดที่ 3)

3.3.1.2.2.1 ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.3.1.2.1 แต่เปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2.3 วิธีการเตรียมตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 25% (ตัวดูดซับชนิดที่ 4)

3.3.1.2.3.1 ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.3.1.2.1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็น 25%

หมายเหตุ ตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาที่เตรียมได้ควรเก็บไว้ในเคสซิเคเตอร์

3.3.2 ศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ที่มีต่อสารละลายสีย้อมเบสิก [16]

3.3.2.1 ปิเปตสารละลายสต็อกมาตรฐานสีย้อมเบสิกมา 1.25 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้ปริมาณที่น้อยที่สุดให้ได้ค่าพีเอชเป็น 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ

3.3.2.2 นำสารละลายที่ปรับค่าพีเอชแล้วจากข้อ 3.3.2.1 เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเป็น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.2.3 นำสารละลายสีย้อมที่เตรียมจากข้อ 3.3.2.2 ทำการสมณค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.3.2.4 นำกราฟที่ได้มาหาว่าความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด

3.3.3 ศึกษาผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายสีย้อมด้วยตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวา [16]

3.3.3.1 ปิเปตสารละลายสต็อกมาตรฐานสีย้อมเบสิกมา 25 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรใกล้เคียง 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้ปริมาณที่น้อยที่สุดให้ได้ค่าพีเอชเป็น 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ

3.3.3.2 นำสารละลายสีย้อมเบสิกที่ปรับค่าพีเอชแล้วจากข้อ 3.3.3.1 เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

- 3.3.3.3 ชั่งตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 1 หนัก 4.000 กรัม เติมลงในแต่
 ละขวดรูปกรวยชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายสีย้อมเบสิกที่
 เตรียมได้จากข้อ 3.3.3.2 ลงไป 150 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่นกวนด้วย
 เครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3.3.3.4 นำสารละลายสีย้อมจากข้อ 3.3.3.3 มาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000
 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-
 วิสibelสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยใช้ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของ
 สารละลายสีย้อมเบสิกที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2
- 3.3.3.5 ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่ผ่านการบำบัดแล้วโดย
 ใช้สูตร

$$\text{Absorbance} = \epsilon b C$$

ϵ = ค่าการดูดกลืนแสงเชิงโมลาร์ (หาจากกราฟมาตรฐาน)

b = ความกว้างของคิวเวต (เซนติเมตร)

C = ความเข้มข้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

- 3.3.3.6 ทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับ (%) โดยใช้สูตร

$$\text{Dye removal (\%)} = [(C_1 - C_2) / C_1] * 100$$

C_1 = ความเข้มข้นก่อนการบำบัด

C_2 = ความเข้มข้นหลังการบำบัด

- 3.3.3.7 นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างค่าประสิทธิภาพการดูดซับกับค่า
 พีเอช
- 3.3.3.8 ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- 3.3.3.9 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.3.1-3.3.3.8 แต่เปลี่ยนเป็นใช้ตัวดูดซับ
 เซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 ตามลำดับ

3.3.4 ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ [2]

- 3.3.4.1 ปิเปิดสารละลายสต็อกมาตรฐานสีย้อมเบสิกมา 200 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัด

ปริมาตรขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับให้มีสภาพพีเอชที่เหมาะสมตามผลการ

ทดลองที่ 3.3.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะให้ความเข้มข้นสารละลายสี่ข้อมเบสิกเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.4.2 ชั่งตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 1 หนัก 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตามลำดับ ใส่ในแต่ละขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายสี่ข้อมเบสิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.4.1 ลงไป 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นกวนด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.4.3 นำสารละลายสี่ข้อมจากข้อ 3.3.4.2 มาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.3.4.4 ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมที่ผ่านการบำบัดแล้ว และคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ (%) เช่นเดียวกับข้อที่ 3.3.3.5 - 3.3.3.6

3.3.4.5 นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับกับปริมาณตัวดูดซับ

3.3.4.6 ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

3.3.4.7 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.4.1-3.3.4.6 แต่เปลี่ยนเป็นใช้ตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 ตามลำดับ

3.3.4.8 นำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้สมการ Freundlich Isotherm

3.3.5 ศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการดูดซับ [8]

3.3.5.1 ปิเปตสารละลายสต็อกมาตรฐานสี่ข้อมเบสิกมา 200 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับให้มีสถานะพีเอชที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 3.3.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะให้ความเข้มข้นสารละลายสี่ข้อมเบสิกเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.5.2 ชั่งตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 1 ตามปริมาณที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 3.3.4 ลงในแต่ละขวดรูปกรวยชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายสี่ข้อมเบสิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.5.1 ลงไป 150 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่นกวนด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 120 180 240 300 360 420 480 540 600 660 และ 720 นาที ตามลำดับ

- 3.3.5.3 นำสารละลายสีย้อมจากข้อ 3.3.5.2 เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วมาวัดค่าการดูดกลืนแสง
- 3.3.5.4 ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่ผ่านการบำบัดแล้ว และคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ (%) เช่นเดียวกับข้อที่ 3.3.3.5 - 3.3.3.6
- 3.3.5.5 นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับกับเวลา สัมผัส
- 3.3.5.6 ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- 3.3.5.7 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.5.1-3.3.5.6 แต่เปลี่ยนเป็นใช้ตัวดูดซับ เซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 ตามลำดับ
- 3.3.6 ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับ [15,16]**
- 3.3.6.1 บีบอัดสารละลายสีจากมาตรฐานสีย้อมเบสิกมา 12.5 25 32.5 50 62.5 75 87.5 100 112.5 และ 125 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม เป็น 50 100 150 200 250 300 350 400 450 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- 3.3.6.2 ชั่งตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 1 ตามปริมาณที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 3.3.4 ลงในแต่ละขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายสีย้อมเบสิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.6.1 ลงไป 150 มิลลิลิตร แล้วทำการปั่นกวนด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 3.3.5
- 3.3.6.3 นำสารละลายสีย้อมจากข้อ 3.3.6.2 เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง
- 3.3.6.4 ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่ผ่านการบำบัดแล้ว และคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ (%)เช่นเดียวกับข้อที่ 3.3.3.5 - 3.3.3.6
- 3.3.6.5 นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับกับความเข้มข้นเริ่มต้น
- 3.3.6.6 ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
- 3.3.6.7 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.6.1-3.3.6.6 แต่เปลี่ยนเป็นใช้ตัวดูดซับ เซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 ตามลำดับ

3.3.7 ศึกษาลักษณะตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวา [16]

- 3.3.7.1 นำตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 ตามลำดับ ทั้งที่ไม่ผ่านการดูดซับ และดูดซับสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสแต่ละชนิด ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) และเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด (FT-IR) ตามลำดับ



บทที่ 4

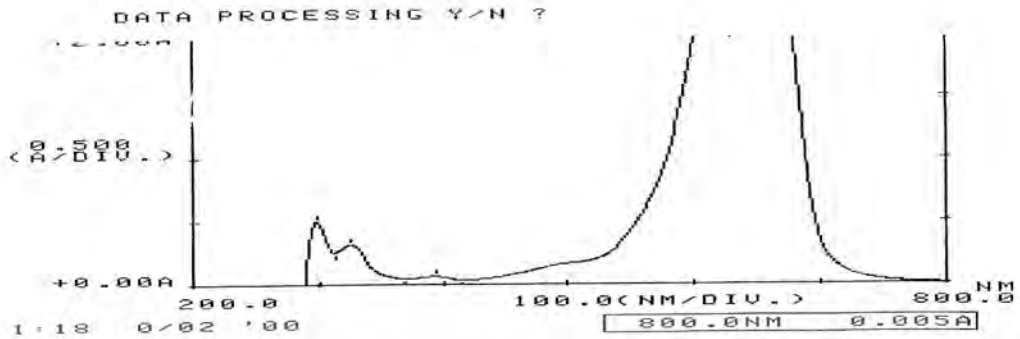
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การนำเสนอโครงการพิเศษเรื่อง การเตรียมตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาเพื่อใช้ในการกำจัดสีข้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ และฟอกย้อม โดยทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีข้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยวิธีการดูดซับแบบครั้ง (Batch) และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลส ที่เตรียมได้จากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพโดยใช้เพียงกระบวนการทางกายภาพ (ตัวดูดซับชนิดที่ 1) และที่ใช้ทั้งกระบวนการทางกายภาพและเคมี (ตัวดูดซับชนิดที่ 2 3 และ 4) โดยนำเสนอเป็นแบบตาราง ภาพประกอบ และ อภิปรายผล ตามการทดลองเพื่อสะดวกในการทำความเข้าใจ

4.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่มีต่อการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู
จากการศึกษาผลของค่าพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณสีข้อมเมธิลีนบลูความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลค่าการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุดที่ค่าพีเอชต่างๆกัน

ค่าพีเอช	3	5	7	9	11
ค่าการดูดกลืนแสง	2.506	2.507	2.507	2.507	2.506
ความยาวคลื่นสูงสุด (นาโนเมตร)	673.0	677.0	675.0	675.0	672.0



รูปที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายคลอโรฟิลล์

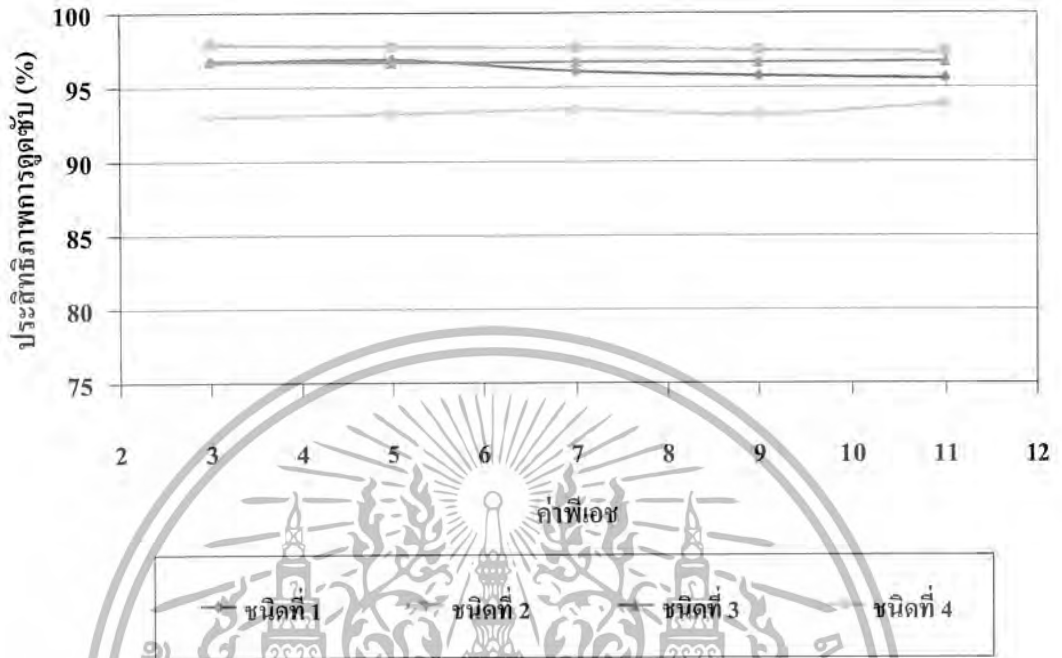
จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายคลอโรฟิลล์ ซึ่งค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายคลอโรฟิลล์ มีค่าเท่ากับ 675.0 นาโนเมตร

4.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับคลอโรฟิลล์ด้วยตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวา

จากการศึกษาผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.2 และสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการดูดซับ กับค่าพีเอชได้ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายคลอโรฟิลล์ที่มีค่าพีเอชต่าง ๆ กัน

ค่าพีเอช	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	ชนิดที่1	ชนิดที่2	ชนิดที่3	ชนิดที่4
3	96.68	97.58	96.76	93.03
5	96.85	97.53	96.65	93.20
7	96.08	97.54	96.70	93.50
9	95.78	97.48	96.68	93.16
11	95.58	97.08	96.73	93.84



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูซ้ำสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูที่กาแฟต่างๆกัน

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่า ณ สภาวะกาแฟที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูซ้ำสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูของตัวดูซ้ำเซลล์โลสแต่ละชนิด โดยประสิทธิภาพการดูซ้ำของตัวดูซ้ำเซลล์โลสชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 95.58-96.85% 97.08-97.58% 96.65-96.76% และ 93.03-93.84% ตามลำดับ

4.3 ผลการศึกษาปริมาณตัวดูซ้ำเซลล์โลสจากผัดบชวที่เหมาะสมต่อการดูซ้ำ

จากผลการทดลองในข้อ 4.2 จะได้สภาวะที่เอซที่เหมาะสมในการดูซ้ำสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลู และในการศึกษาผลของปริมาณตัวดูซ้ำเซลล์โลส โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.3 และสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการดูซ้ำ กับปริมาณตัวดูซ้ำเซลล์โลสได้ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่ปริมาณตัวดูดซับ
เซลลูโลสต่างๆ กัน

ตัวดูดซับเซลลูโลส ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4
1	89.33	90.00	87.31	85.68
2	92.97	94.74	92.26	88.25
3	94.59	96.570	93.90	91.23
4	95.40	97.40	95.08	92.79
5	95.68	97.86	95.81	94.11



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลส
ต่างๆกัน

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพ
การดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับของตัว

ดูดซับเซลล์โลสเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยปริมาณตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 และชนิดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 4.00 กรัม ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูของตัวดูดซับแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 95.40%, 97.40% และ 95.08% ตามลำดับ สำหรับปริมาณตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 5.00 กรัม ประสิทธิภาพในการดูดซับของสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูของตัวดูดซับเซลล์โลสมีค่าเท่ากับ 94.11 %

4.4 ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

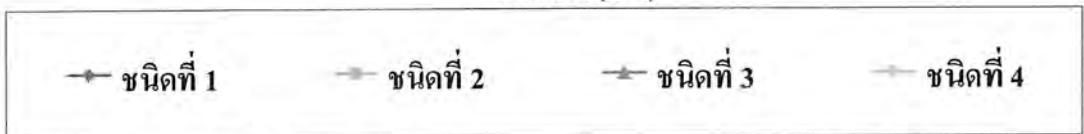
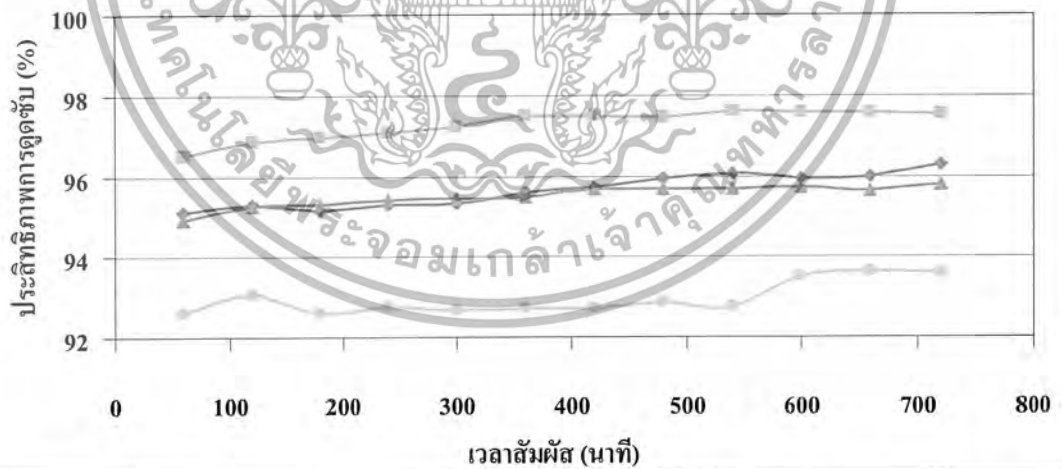
จากผลการทดลองในข้อ 4.2 และ 4.3 จะได้สภาวะพีเอช และปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับขั้วของสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู และในการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่เหมาะสม โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.4 และสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับ กับเวลาสัมผัสได้ดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ตัวดูดซับเซลล์โลส เวลาสัมผัส (นาที)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4
60	95.12	96.50	94.93	92.59
120	95.29	96.86	95.26	93.06
180	95.16	96.95	95.31	92.62
240	95.30	97.07	95.43	92.76
300	95.33	97.23	95.45	92.69
360	95.62	97.49	95.48	92.72

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน (ต่อ)

ตัวดูดซับเซลลูโลส เวลาสัมผัส (นาที)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4
420	95.73	97.49	95.67	92.72
480	95.94	97.47	95.68	92.86
540	96.07	97.61	95.67	92.76
600	95.93	97.59	95.70	93.51
660	95.97	97.58	95.63	93.62
720	96.29	97.55	95.80	93.60



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสทำให้สารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูสามารถแพร่ไปยังผิวตัวดูดซับ เซลลูโลสได้มากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 60 นาที 360 นาที 120 นาที และ 600 นาที ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูของตัวดูดซับแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 95.12% 97.49% 95.26% และ 93.51% ตามลำดับ

4.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

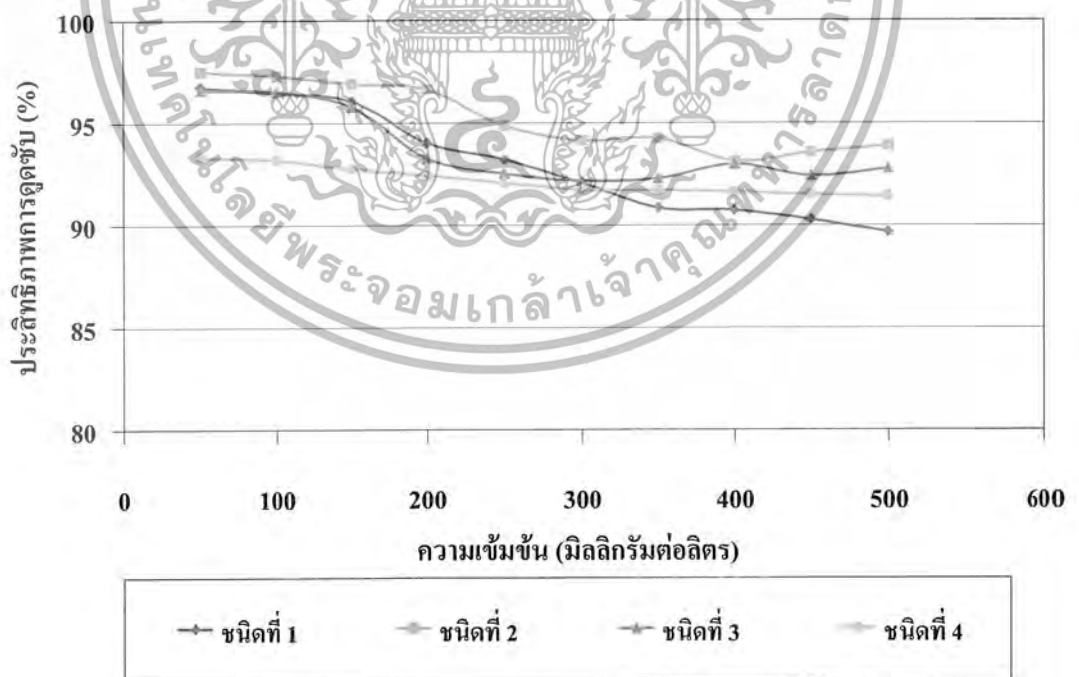
จากการทดลองในข้อ 4.2 4.3 และ 4.4 จะได้สภาวะที่เอช ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลส และ เวลาที่สัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลู โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี ปริมาณสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูความเข้มข้นต่างๆ เขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ซึ่ง ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.5 และสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพในการดูดซับ กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลู ได้ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ กัน

ตัวดูดซับเซลลูโลส / ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4
50	96.75	97.50	96.60	93.31
100	96.45	97.29	96.52	93.20
150	96.06	96.92	95.80	92.76
200	94.04	96.64	93.28	92.45
250	93.23	94.87	92.54	92.08

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ กัน (ต่อ)

ตัวดูดซับเซลลูโลส ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4
300	92.08	94.15	92.19	91.74
350	90.86	94.25	92.30	91.73
400	90.74	93.14	92.99	91.64
450	90.27	93.57	92.42	91.50
500	89.68	93.89	92.77	91.43



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

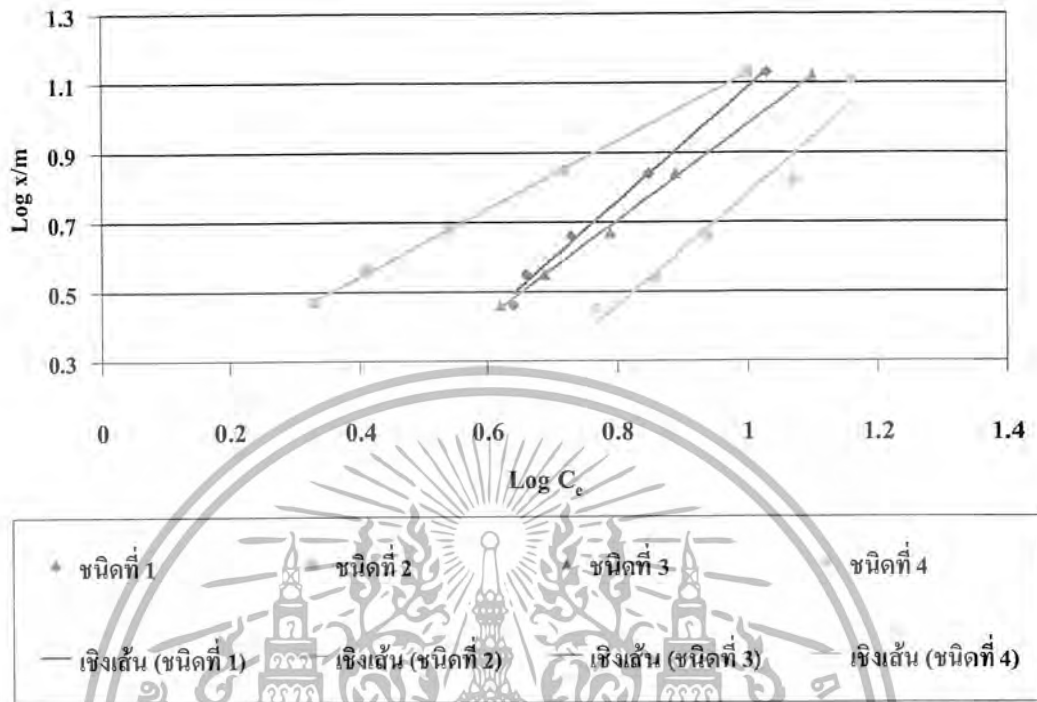
จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมธิลลีนบลูเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับลดลงเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสีย้อมเมธิลลีนบลูเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง โดยความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของสารละลายสีย้อมเมธิลลีนบลูต่อการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 96.45% 97.29% 96.52% และ 93.20% ตามลำดับ

4.6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลส

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.4 ทำการศึกษา Adsorption Isotherm โดยใช้สมการ Freundlich Isotherm ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.6 และนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log}(x/m)$ กับ $\text{Log} C_c$

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษา ไอโซเทอร์ม การดูดซับสารละลายสีย้อมเมธิลลีนบลูของตัวดูดซับเซลลูโลสแต่ละชนิดแบบ Freundlich

ตัวดูดซับเซลลูโลส	ชนิดที่ 1		ชนิดที่ 2		ชนิดที่ 3		ชนิดที่ 4	
	Log C_c	Log (x/m)	Log C_c	Log (x/m)	Log C_c	Log (x/m)	Log C_c	Log (x/m)
1	1.03	1.13	1.00	1.13	1.10	1.12	1.16	1.11
2	0.85	0.84	0.72	0.85	0.89	0.84	1.07	0.82
3	0.73	0.68	0.54	0.68	0.79	0.67	0.94	0.66
4	0.66	0.55	0.41	0.56	0.69	0.55	0.86	0.54
5	0.64	0.46	0.33	0.47	0.62	0.46	0.77	0.45
R^2	0.9928		0.9960		0.9980		0.9524	



รูปที่ 4.6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์ม การดูดซับสารละลายอีเอ็มเมธิลีนบลูของตัวดูดซับเซลลูโลสแต่ละชนิดแบบ Freundlich

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 พบว่า ตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาแต่ละชนิดเกิดการดูดซับตามสมการ Freundlich ซึ่งเป็นการดูดซับที่ตัวดูดซับเรียงซ้อนกันหลายๆ ชั้นด้วยพันธะอ่อนๆ สังเกตได้จากค่า R^2 ที่มีค่าสูงมาก และพบว่าสามารถหาค่าความสามารถในการดูดซับ (x/m) ที่ค่าความเข้มข้น ณ สถานะสมดุล (C_e) มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือค่าคงที่ (K) ได้จากสมการเส้นตรงของตัวดูดซับจากผักตบชวาแต่ละชนิดดังนี้

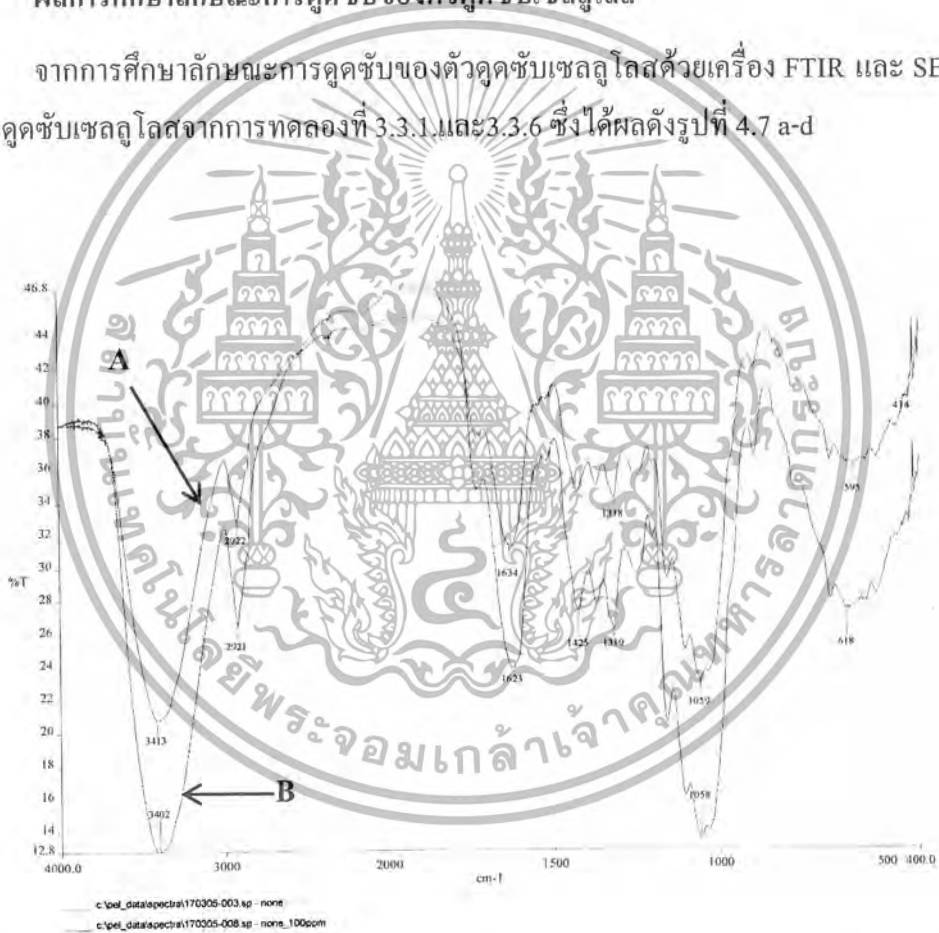
1. ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 2 ได้สมการเส้นตรง $y = 0.9753x + 0.1528$ โดยมีค่า $K = 1.42$
2. ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 3 ได้สมการเส้นตรง $y = 1.3893x - 0.4084$ โดยมีค่า $K = 0.39$
3. ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 4 ได้สมการเส้นตรง $y = 1.6176x - 0.8369$ โดยมีค่า $K = 0.15$

4. ตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 1 ได้สมการเส้นตรง $y = 1.6425x - 0.5564$ โดยมีค่า $K = 0.28$

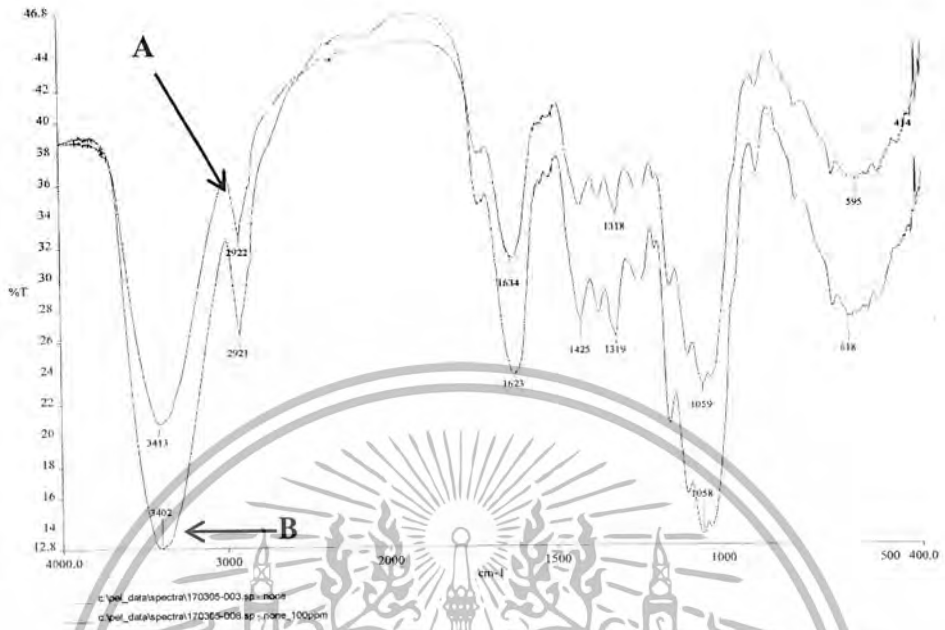
จากค่า K ของตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาแต่ละชนิด พบว่า ตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 2 มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 3 ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 4 ตามลำดับ

4.7 ผลการศึกษาลักษณะการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลส

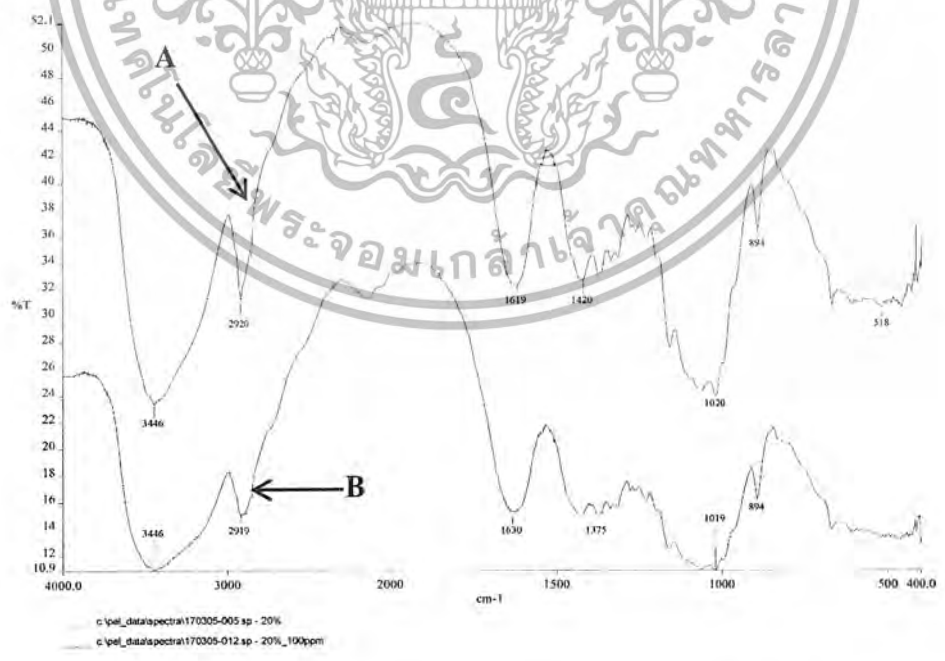
จากการศึกษาลักษณะการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสด้วยเครื่อง FTIR และ SEM โดยใช้ตัวดูดซับเซลล์โลสจากการทดลองที่ 3.3.1 และ 3.3.6 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.7 a-d



รูปที่ 4.7 a ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 1 A คือไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ

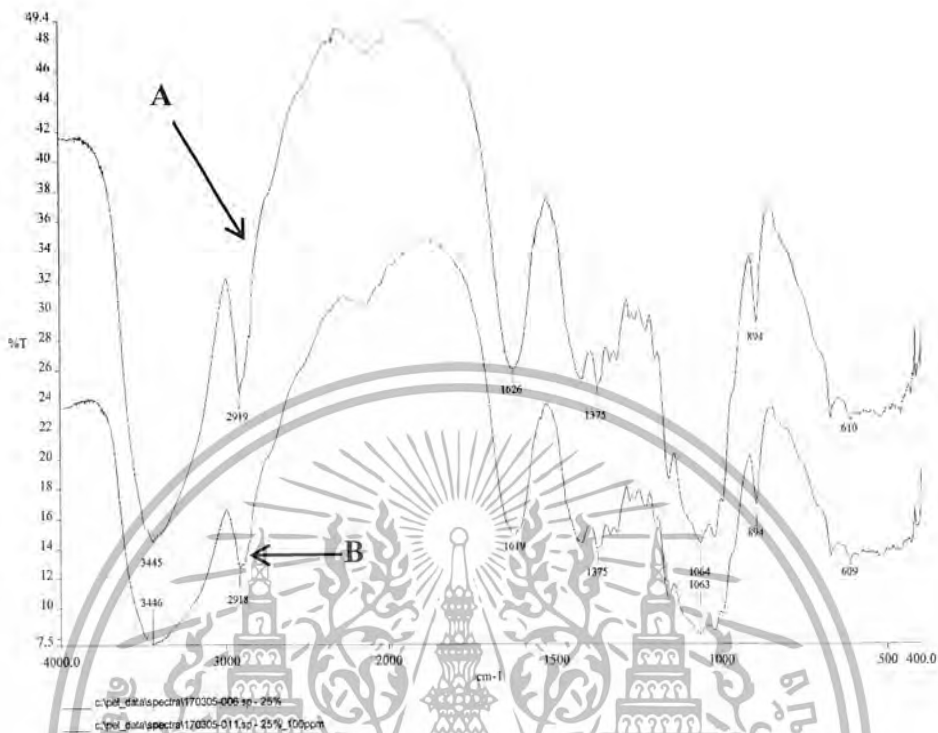


รูปที่ 4.7 b ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลล์ูโลสชนิดที่ 2 A คือ ไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ



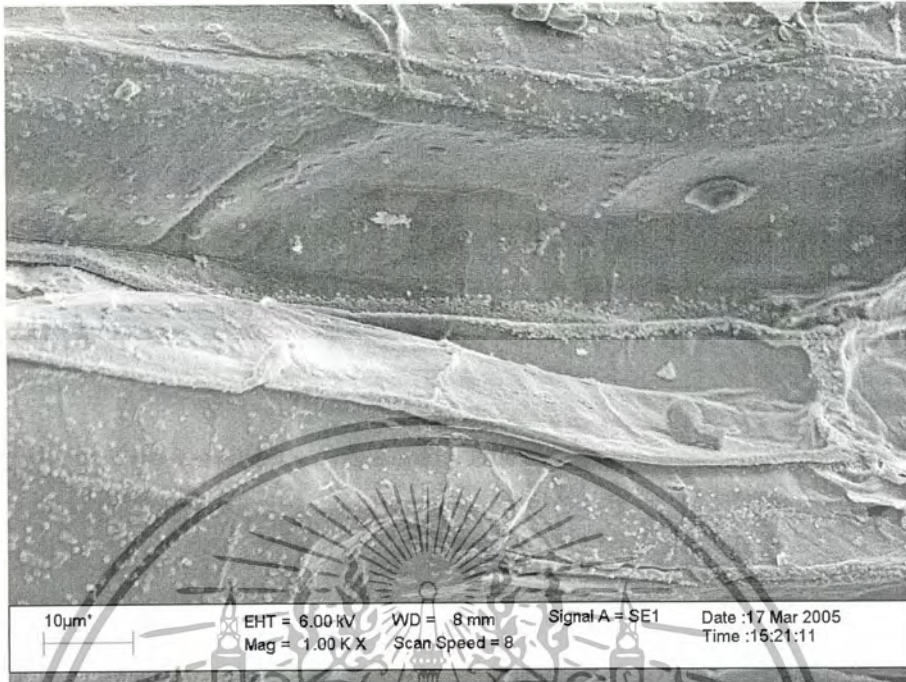
รูปที่ 4.7 c ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลล์ูโลสชนิดที่ 3 A คือ ไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

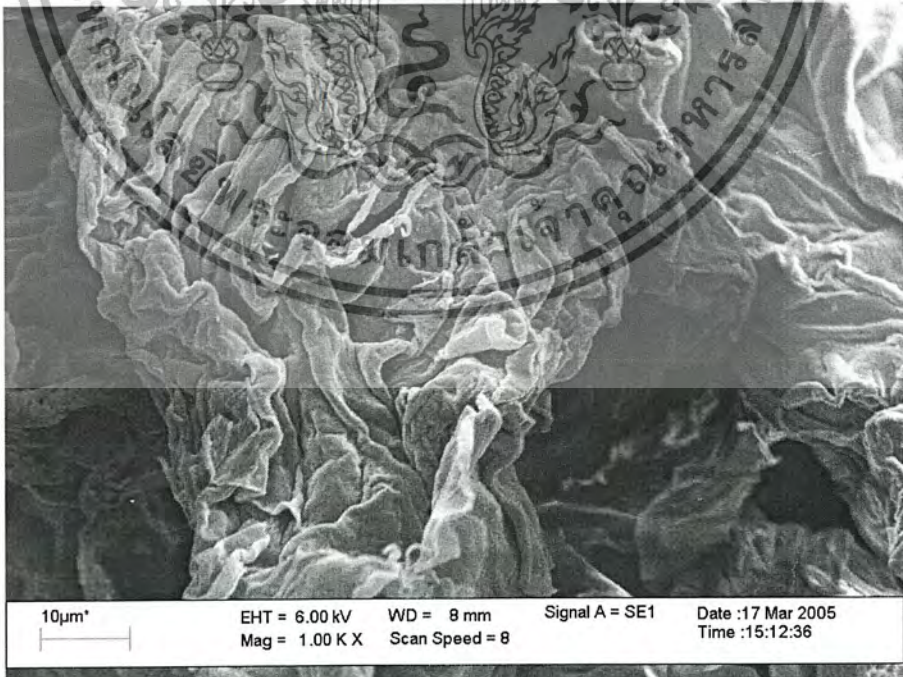


รูปที่ 4.7 d ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 4 A คือ ไม่ผ่านการดูดซับ และ B คือ ผ่านการดูดซับ

จากรูปที่ 4.7 a-d แสดงการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิด ที่ไม่ผ่านการดูดซับ (A) และผ่านการดูดซับ (B) โดยพิจารณาจากความกว้างของพีคในช่วงเลขคลื่นประมาณ $3,500-3,300 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) พบว่าพีค B มีความกว้างมากกว่าพีค A แสดงว่าเกิดการดูดซับของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูซึ่งเป็นสีย้อมชนิดแคทไอออนิกกับหมู่ไฮดรอกซิลของตัวดูดซับเซลล์โลสเป็นการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดซับทางเคมีของพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของตัวดูดซับเซลล์โลสกับไนโตรเจนอะตอมของสีย้อมเมธิลีนบลู

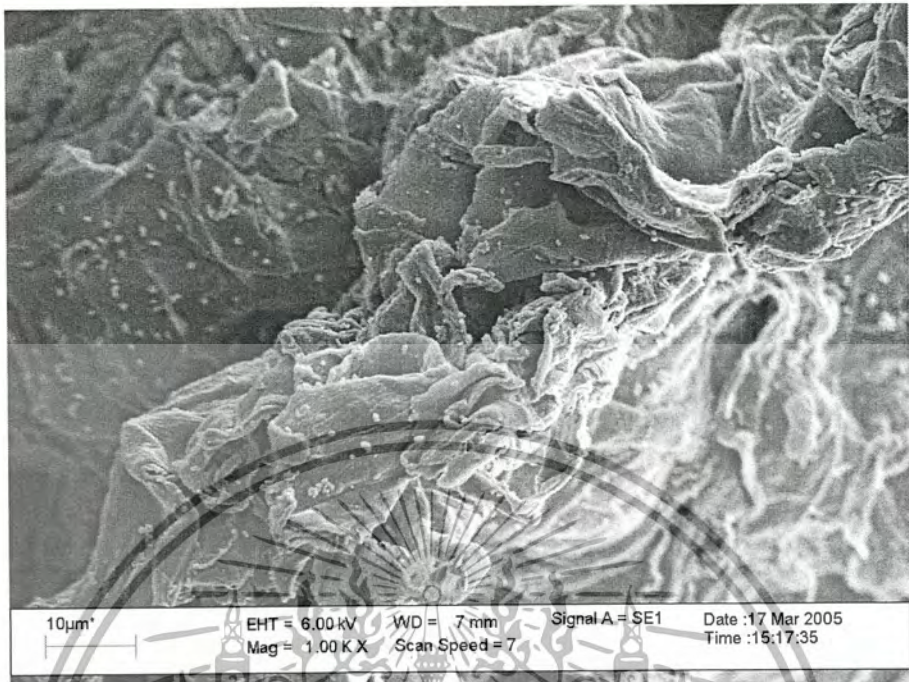


รูปที่ 4.8 a ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 1 และไม่ผ่านการดูดซับ

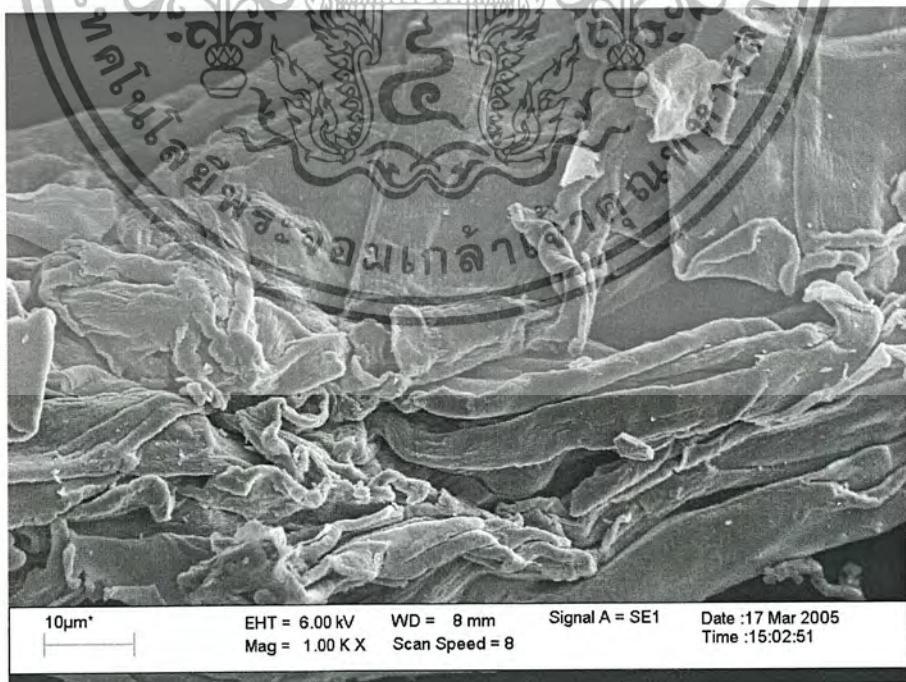


รูปที่ 4.8 b ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 2 และไม่ผ่านการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

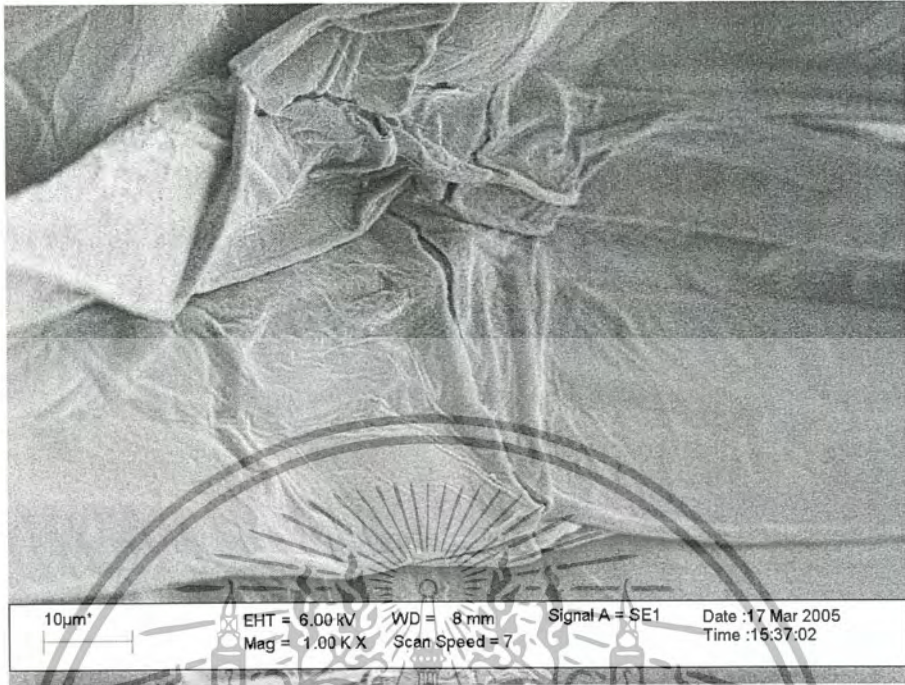


รูปที่ 4.8 c ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 3 และไม่ผ่านการดูดซับ

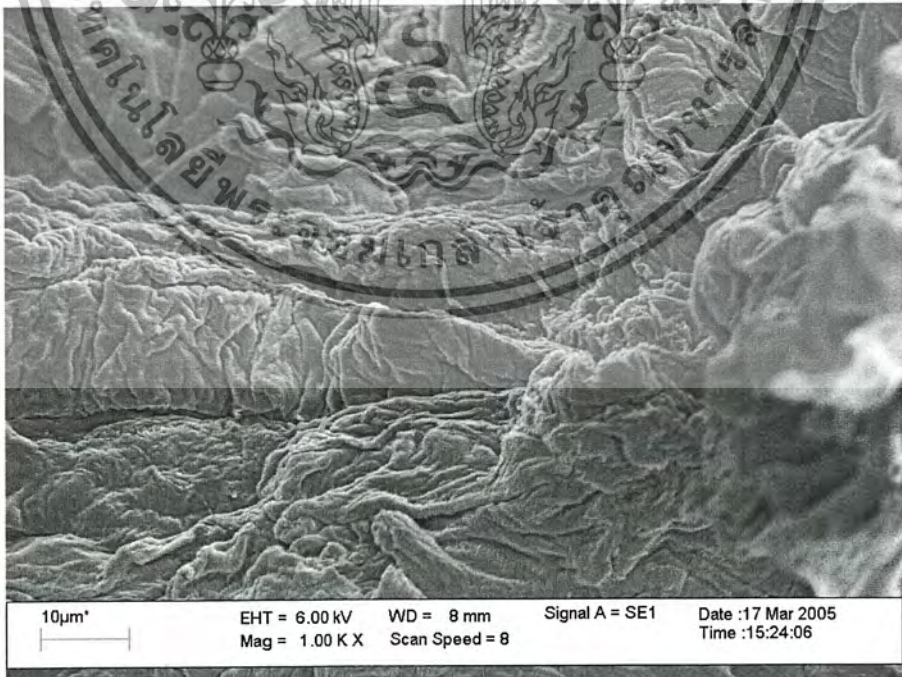


รูปที่ 4.8 d ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 4 และไม่ผ่านการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

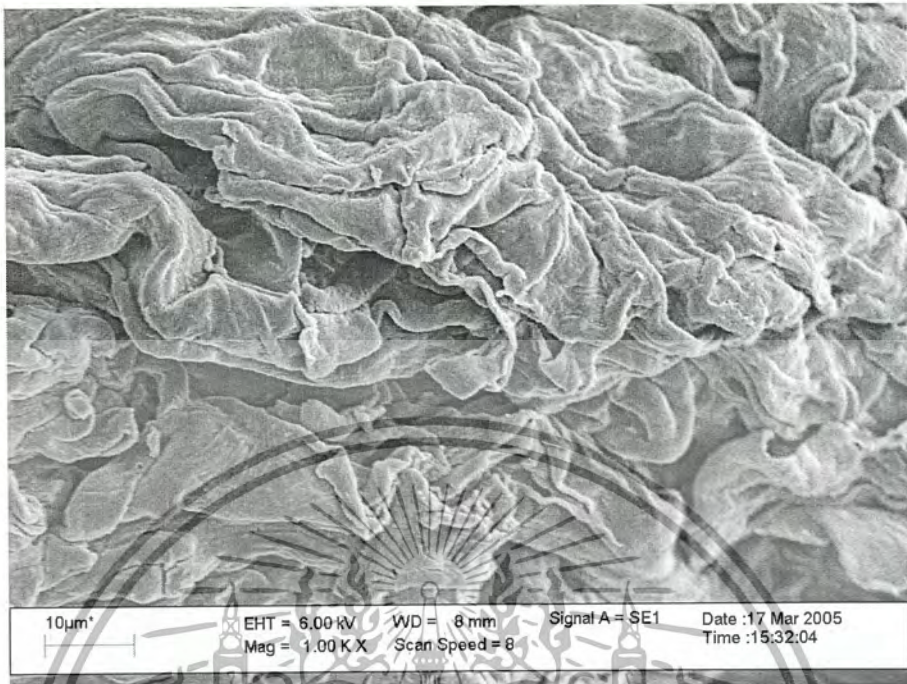


รูปที่ 4.8 e ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 1 และผ่านการดูดซับ

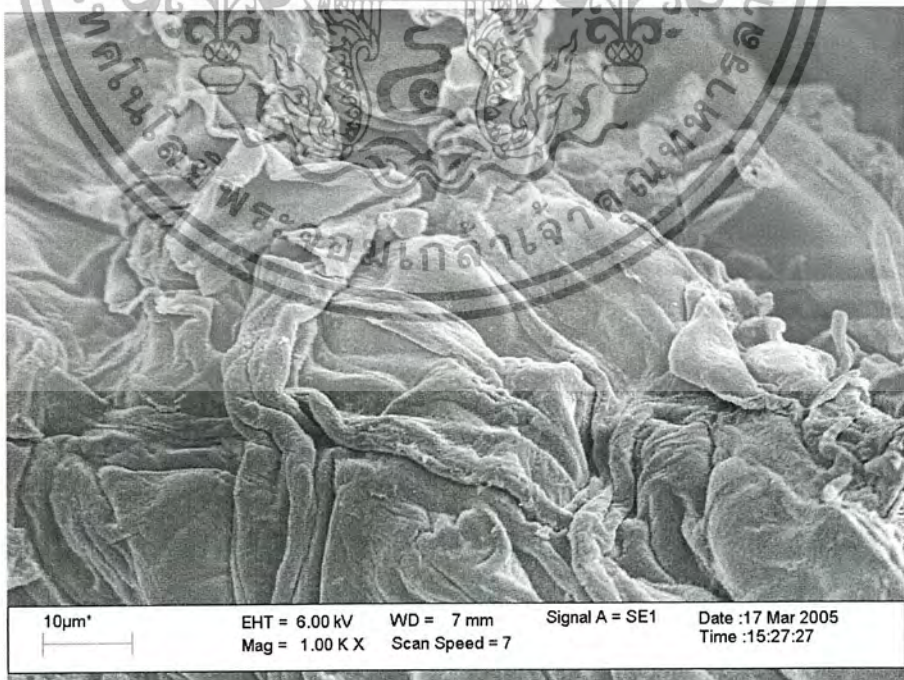


รูปที่ 4.8 f ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 2 และผ่านการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 g ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 3 และผ่านการดูดซับ



รูปที่ 4.8 h ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 4 และผ่านการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 a-d เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.8 e-h พบว่าผิวของตัวดูดซับเซลล์โลส ในรูปที่ 4.8 a-d มีความบางเนื่องจากยังไม่ผ่านการดูดซับ แต่ผิวของตัวดูดซับเซลล์โลสในรูปที่ 4.8 e-h มีความหนามากกว่าเนื่องจากเกิดการดูดซับ

4.8 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิด ณ สภาวะที่กำหนด

จากผลการทดลองที่ 4.2 4.3 4.4 และ 4.5 ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 2 มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด ณ สภาวะความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาสัมผัส 360 นาที ปริมาณตัวดูดซับเซลล์โลส 4 กรัม และความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยสภาวะของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 2 ดังกล่าวถูกกำหนดให้เป็นสภาวะที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 4.7 ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิด ณ สภาวะที่กำหนด

ตัวดูดซับเซลล์โลส / สภาวะที่กำหนด	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3	ชนิดที่ 4
ค่าพีเอช 5	96.85	97.53	96.65	93.20
ปริมาณตัวดูดซับเซลล์โลส 4 กรัม	95.40	97.40	95.08	92.79
เวลาสัมผัส 360 นาที	95.62	97.49	95.48	92.72
ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	96.45	97.29	96.52	93.20

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลส
ณ. สภาวะที่กำหนด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี T-Test

เปรียบเทียบ สภาวะที่กำหนด	t คำนวณ		
	ชนิดที่ 2-1	ชนิดที่ 2-3	ชนิดที่ 2-4
ค่าพีเอช 5	8.77	18.94	27.68
ปริมาณตัวดูดซับ เซลลูโลส 4 กรัม	10.43	106.73	32.49
เวลาสัมผัส 360 นาที	87.91	36.00	70.41
ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	16.22	6.34	56.57

หมายเหตุ $t_{\text{คำนวณ}} \geq t_{\text{ตาราง}}$ แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

$t_{\text{คำนวณ}} < t_{\text{ตาราง}}$ แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่า $t_{\text{คำนวณ}}$ ของทุกสภาวะที่กำหนดมีค่ามากกว่าค่า $t_{\text{ตาราง}}$ แสดงว่า
ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดที่ 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัว
ดูดซับชนิดที่ 1 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับเซลล์โลสจากผักตบชวาเพื่อใช้ในการกำจัดสีข้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ และฟอกย้อม โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 และชนิดที่ 4 ตามลำดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิด สรุปได้ดังนี้

1. ค่าพีเอช ค่าพีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิด
2. ปริมาณตัวดูดซับเซลล์โลส เมื่อปริมาณตัวดูดซับเซลล์โลสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ผิวในการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น
3. เวลาสัมผัส เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น สารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูสามารถแพร่ไปยังผิวตัวดูดซับเซลล์โลสได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น
4. ความเข้มข้นเริ่มต้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลูเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสีข้อมเมธิลีนบลูเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิดลดลง
5. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิด เมื่อปรับสภาพตัวดูดซับเซลล์โลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับเซลล์โลสเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปรับสภาพตัวดูดซับเซลล์โลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นมากเกินไป ส่งผลให้จำนวนหมู่ไฮดรอกซิลของตัวดูดซับเซลล์โลสลดลง และจากการคำนวณผลทางสถิติด้วยวิธี T-Test สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสแต่ละชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นอกจากนั้นทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของตัวดูดซับเซลล์โลสโดยใช้สมการ Freundlich และศึกษากระบวนการดูดซับของสีข้อมเมธิลีนบลูที่หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของตัวดูดซับเซลล์โลส ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด และเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป สรุปได้ว่า ตัวดูดซับเซลล์โลสที่ผลิตได้จากผักตบชวามีการดูดซับสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรศึกษาการดูดซับสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูโดยใช้วิธีการดูดซับแบบคอลัมน์
- 5.2.2 ควรศึกษาถึงแนวทางในการกำจัดตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวา ที่ผ่านการดูดซับแล้ว เพื่อไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกครั้ง
- 5.2.3 ควรศึกษาวิธีการนำตัวดูดซับเซลลูโลสที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่
- 5.2.4 โครงการพิเศษนี้สามารถนำไปประยุกต์กับ การจัดการระบบบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟอกย้อม ได้อย่างสะดวก และมีประสิทธิภาพ



เอกสารอ้างอิง

1. กนกอร สนสาขา และเฉลิมขวัญ ชาวปิง. 2542. การปรับปรุงโครงสร้างเซลล์โอสเพื่อบำบัดสี ย้อมชนิดแอสิก และสีย้อมรีแอคทีฟ และโลหะ Cu(II) และ Co (II) ไอออน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
2. กานดา สุขนกุลพานิช และคณะ. 2545. การดูดซับฟีนอลในน้ำเสียโดยใช้ถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. จักริน ไหมศรี และธรรมนุญ เจริญสิทธิ์. 2543. การบำบัดตะกั่วไอออนจากน้ำทิ้งโรงงาน แบตเตอรี่โดยใช้ผงผักตบชวา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
4. จินตนา อุบลวัฒน์ และพรธิดา โสภณ. 2540. การบำบัดสีย้อมผ้าชนิดใดเรกที่ด้วยผง ผักตบชวาในกลุ่มน้ำแบบชั้นครึ่ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
5. จิระศักดิ์ แสงพุ่ม และคณะ. 2000. ผลของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวา สำหรับการดูดซับไอเบนซีน. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต. 4(1) : 48-54.
6. ชมัยพร รัตนะ และชุติมา โทงวสุกุล. 2543. การศึกษาวิธีการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวา ด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อให้อยู่ในรูปที่มีหมู่อะมิโนเป็นองค์ประกอบ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
7. แม้น อมรสิทธิ์. 2539. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เครื่องมือ. กรุงเทพฯ. โรง พิมพ์ชวนพิมพ์.
8. ราตรี ปิ่นทอง และคณะ. 2543. การดูดซับสารละลายสีย้อมโดยใช้ต้นข้าวโพดและต้นมัน ลำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรม เคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. รัฐเชษฐ์ ชีระชนาวีวัฒน์ และคณะ. 2540. การดูดซับ Cu(II) Ni(II) Zn(II) และ Cr(II) โดยผักตบชวา. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
10. วิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ. 2541. การใช้กากดอกกระเจี๊ยบและเปลือกถั่วเหลืองเพื่อผลิตเซลลูโลสผง. วารสารอาหาร. 28(4) : 255-267.
11. วิภาดา นวลทวี และศรีประภา กล้วยไม้ ณ อรุณยา. 2540. การบำบัดสีไคเรกที่ด้วยผักตบชวา. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
12. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.
13. Audrius Maruska et al., Regulation of Cellulose-Based Adsorbent Granule Morphology. **Journal of Chromatography A**. 1996, 746, 147-160.
14. Hui Fang et al., In Vivo Studies of Endotoxin Removal by Lysine-Cellulose Adsorbent. **Biomaterials**. 2004, 25, 5433-5440.
15. K.S. Low et al., Biosorption of Basic Dyes by Water Hyacinth Roots. **Bioresource Technology**. 1995, 52, 79-83.
16. M.A. Al-Ghouti et al., The Removal of Dyes from Textile Wastewater : A Study of the Physical Characteristics and Adsorption Mechanisms of Diatomaceous Earth. **Journal Enviromental Management**. 2003, 69, 229-238.

ภาคผนวก ก.

การเตรียมสารเคมี และกราฟมาตรฐาน

1. การเตรียมสารเคมี

1.1. สารละลายสต็อกมาตรฐานสีย้อมเบสิก (Methylene Blue) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ชั่งผงสีย้อมเบสิก 1 กรัม มาละลายน้ำแล้วปรับให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิตร ในขวดวัดปริมาตร

1.2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ [13]

- นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเกรดการคำนวณ 209.03 มิลลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ [16]

- เปิดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์มา 8.36 มิลลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 15% (w/w) [14]

- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดการคำนวณ 150.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 20% (w/w) [14]

- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดการคำนวณ 200.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 25% (w/w) [14]

- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดการคำนวณ 250.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ [16]

- ชั่งเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดวิเคราะห์มา 4.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมเบสิก [4]

- 2.1 ปิเปตสารละลายส้ต้อมมาตรฐานสีย้อมเบสิกมา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายสีย้อมเบสิก 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2.2 ปิเปตสารละลายจากข้อ 2.1 มา 2 4 6 และ 8 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แต่ละขวดเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตรจะได้สารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นของสี 2 4 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2.3 ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยใช้ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.2
- 2.4 นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น

หมายเหตุ กราฟมาตรฐานทำทุกครั้งเมื่อมีการทดลอง



ภาคผนวก ข.

มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม [12]

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และ
นิคมอุตสาหกรรม

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ความเป็นกรด และด่าง (pH)	5.5-9.0
ทีดีเอส (Total Dissolved Solids)	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภท ของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งที่ระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีความเค็ม 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีความมากกว่า ค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย หรือทะเลได้อีกไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำ ทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบ บำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้อง ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
สี และกลิ่น (Color and Oder)	เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้วไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
น้ำมัน และไขมัน (Fat Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และ
นิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัด ศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจ ไม่พบตามวิธีที่กำหนด
บีโอดี (Biochemical Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับน้ำ ทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับน้ำ ทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร
โลหะหนัก (Heavy Metal)	
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม(Cr)	
Hexavalent	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
Trivalent	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดง(Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และ
นิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

หมายเหตุ :

1. มาตรฐาน ฯ นี้ได้ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ ฯ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539
2. โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
3. นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรม หรือ โครงการที่จัดไว้สำหรับประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม
4. น้ำเสีย หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น
5. น้ำทิ้ง หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคณงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศ
6. โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 3 ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 และนิคมอุตสาหกรรม ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2537 ให้กำหนดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535

ภาคผนวก ก.

การคำนวณ

1. การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับ [2]

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = (C_0 - C_e) \times 100 / C_0$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของสีย้อมก่อนการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

C_e คือ ความเข้มข้นของสีย้อมหลังการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การคำนวณหาค่าปริมาณการดูดซับ [2]

$$\text{ปริมาณการดูดซับ (mg/g)} = [(C_0 - C_e) \times V] / 1,000 \times M$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นของสีย้อมก่อนการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

C_e คือ ความเข้มข้นของสีย้อมหลังการดูดซับ มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

V คือ ปริมาตรของสารละลาย มีหน่วย มิลลิลิตร

M คือ น้ำหนักของผักตบชวาที่ใช้ในการดูดซับ มีหน่วย กรัม

3. การคำนวณหาความแตกต่างโดยใช้ T-test

$$t = \frac{(\bar{x}_A - \bar{x}_B) - (\mu_A - \mu_B)}{\sqrt{\frac{S_A^2}{n_A} + \frac{S_B^2}{n_B}}}$$

เมื่อ	\bar{x}_A	=	ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างชุด A
	\bar{x}_B	=	ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างชุด B
	μ_A	=	ค่าเฉลี่ยของประชากรชุด A
	μ_B	=	ค่าเฉลี่ยของประชากรชุด B
	S_A^2	=	ความแปรปรวนของตัวอย่างชุด A
	S_B^2	=	ความแปรปรวนของตัวอย่างชุด B
	n_A	=	จำนวนประชากรชุด A
	n_B	=	จำนวนประชากรชุด B

ภาคผนวก ง

ข้อมูลผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาค่าพีเอชที่มีต่อการดูดกลืนแสง และความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max})

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นสารละลายสีเขียวเมธิลีนบลู 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
แปรค่าพีเอชเป็น 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ

ค่าพีเอช									
3		5		7		9		11	
λ	Abs	λ	Abs	λ	Abs	λ	Abs	λ	Abs
673.0	2.506	677.0	2.507	675.0	2.507	675.0	2.507	672.0	2.506
629.0	2.066	629.0	2.380	630.0	2.295	629.0	2.215	628.0	2.960
612.0	2.241	615.0	2.506	612.0	2.478	612.0	2.369	612.0	2.103
416.0	0.033	416.0	0.039	416.0	0.040	416.0	0.037	416.0	0.037
394.0	0.064	394.0	0.078	394.0	0.076	394.0	0.072	394.0	0.067
370.0	0.048	368.0	0.059	368.0	0.058	368.0	0.055	370.0	0.053
326.0	0.317	326.0	0.398	325.0	0.383	326.0	0.359	326.0	0.310
312.0	0.250	313.0	0.357	312.0	0.338	312.0	0.304	311.0	0.234
298.0	0.502	298.0	0.711	298.0	0.660	298.0	0.611	298.0	0.458
267.0	0.402	264.0	0.399	265.0	0.400	266.0	0.401	268.0	0.403

2. ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวา

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลู 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลส 4 กรัม ความเร็วรอบ 200รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แปรค่าพีเอชเป็น 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ

pH ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
	1	2	3			
3.02	0.445	0.459	0.442	0.448	3.316	96.684
5.01	0.440	0.416	0.421	0.425	3.146	96.854
7.02	0.484	0.537	0.571	0.530	3.923	96.077
9.01	0.508	0.626	0.576	0.570	4.219	95.781
10.98	0.611	0.594	0.586	0.597	4.419	95.581

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 2

pH ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
	1	2	3			
3.01	0.312	0.330	0.339	0.327	2.420	97.580
5.03	0.348	0.323	0.331	0.334	2.472	97.528
7.02	0.325	0.326	0.345	0.332	2.457	97.543
9.02	0.341	0.336	0.343	0.340	2.517	97.483
10.91	0.394	0.396	0.395	0.395	2.924	97.076

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 2

ตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20%						
pH ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
	1	2	3			
3.01	0.509	0.525	0.525	0.519	3.236	96.764
5.02	0.534	0.528	0.554	0.538	3.354	96.646
7.02	0.518	0.545	0.528	0.530	3.304	96.696
9.02	0.537	0.524	0.540	0.533	3.323	96.677
10.91	0.532	0.527	0.516	0.525	3.273	96.727

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 3

ตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 25%						
pH ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
	1	2	3			
3.01*	0.202	0.210	0.206	0.206	6.974	93.026
5.04*	0.209	0.201	0.193	0.201	6.804	93.196
6.97*	0.190	0.194	0.191	0.192	6.500	93.500
8.99*	0.210	0.208	0.189	0.202	6.838	93.162
11.07*	0.180	0.190	0.176	0.182	6.161	93.839

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 13

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

3. ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสจากผักตบชวาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลู 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แปรค่าปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลสเป็น 1 2 3 4 และ 5 กรัม ตามลำดับ

ครั้งที่ มวล(กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _c (mg/l)	%R (%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
1*	0.308	0.321	0.319	0.316	10.668	89.332	13.400
2	1.086	0.988	1.050	1.041	7.031	92.969	6.973
3	0.778	0.808	0.816	0.801	5.406	94.594	4.729
4	0.655	0.653	0.734	0.681	4.596	95.404	3.578
5	0.613	0.695	0.620	0.643	4.342	95.678	2.869

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 5

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

ครั้งที่ มวล(กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _c (mg/l)	%R (%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
1*	0.311	0.307	0.311	0.309	10.000	90.000	13.500
2	0.842	0.806	0.793	0.813	5.262	94.738	7.105
3	0.514	0.540	0.537	0.530	3.430	96.570	4.829
4	0.395	0.403	0.405	0.401	2.596	97.404	3.652
5	0.314	0.321	0.359	0.331	2.142	97.858	2.936

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 4

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

ตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20%							
ครั้งที่ มวล(กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R(%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
1*	0.372	0.377	0.379	0.376	12.694	87.306	13.096
2	1.164	1.135	1.143	1.147	7.745	92.255	6.919
3	0.895	0.917	0.897	0.903	6.097	93.903	4.695
4	0.730	0.729	0.729	0.729	4.922	95.078	3.565
5	0.635	0.615	0.613	0.621	4.193	95.807	2.874

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 8

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

ตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 25%							
ครั้งที่ มวล(กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R(%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
1*	0.417	0.436	0.415	0.423	14.320	85.680	12.852
2*	0.356	0.330	0.354	0.347	11.747	88.253	6.619
3*	0.257	0.263	0.258	0.259	8.768	91.232	4.562
4*	0.216	0.205	0.218	0.213	7.211	92.789	3.479
5*	0.170	0.182	0.170	0.174	5.890	94.110	2.823

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 13

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

4. ผลของเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมเมธิลีนบลู 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลส 4 กรัม ความเร็วรอบ 200รอบต่อนาที แปรค่าเวลาสัมพัทธ์เป็น 60 120 180 240 300 360 420 480 540 600 660 และ 720 นาที ตามลำดับ

ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดไม่ปรับสภาพ						
เวลา(นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
	1	2	3			
60	0.761	0.758	0.736	0.752	4.880	95.120
120	0.718	0.731	0.728	0.726	4.711	95.289
180	0.735	0.754	0.748	0.746	4.841	95.159
240	0.741	0.71	0.724	0.725	4.705	95.295
300	0.725	0.691	0.745	0.720	4.672	95.328
360	0.671	0.674	0.679	0.675	4.380	95.620
420	0.647	0.700	0.626	0.658	4.270	95.730
480	0.604	0.635	0.632	0.625	4.056	95.944
540	0.599	0.627	0.593	0.606	3.933	96.067
600	0.617	0.622	0.646	0.628	4.075	95.925
660	0.621	0.616	0.625	0.621	4.030	95.970
720	0.567	0.585	0.561	0.571	3.705	96.295

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 10

ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 15%						
ครั้งที่ เวลา(นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
	1	2	3			
60	0.542	0.552	0.544	0.546	3.505	96.495
120	0.495	0.486	0.490	0.490	3.145	96.855
180	0.482	0.465	0.482	0.476	3.055	96.945
240	0.452	0.450	0.467	0.456	2.927	97.073
300	0.440	0.426	0.432	0.432	2.773	97.227
360	0.409	0.403	0.403	0.405	2.508	97.492
420	0.412	0.409	0.397	0.406	2.514	97.486
480	0.412	0.400	0.413	0.408	2.526	97.474
540	0.381	0.395	0.382	0.386	2.390	97.610
600	0.363	0.405	0.400	0.389	2.409	97.591
660	0.391	0.387	0.395	0.391	2.421	97.579
720	0.388	0.407	0.395	0.396	2.452	97.548

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 6 (60-300 นาที) และ 7 (360-720 นาที)

ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20%							
เวลา(นาที)	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
		1	2	3			
60		0.777	0.779	0.787	0.781	5.068	94.932
120		0.731	0.729	0.732	0.731	4.744	95.256
180		0.720	0.725	0.724	0.723	4.692	95.308
240		0.698	0.700	0.713	0.704	4.569	95.431
300		0.695	0.695	0.713	0.701	4.549	95.451
360		0.712	0.688	0.689	0.696	4.517	95.483
420		0.683	0.665	0.653	0.667	4.328	95.672
480		0.666	0.642	0.689	0.666	4.322	95.678
540		0.659	0.667	0.679	0.668	4.335	95.665
600		0.660	0.679	0.652	0.663	4.302	95.698
660		0.667	0.666	0.690	0.674	4.374	95.626
720		0.658	0.648	0.638	0.648	4.205	95.795

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 10

ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดปรับปรุงสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 25%						
ครั้งที่ เวลา(นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _e (mg/l)	%R (%)
	1	2	3			
60*	0.214	0.223	0.221	0.219	7.414	92.586
120*	0.210	0.203	0.214	0.209	7.075	92.925
180*	0.216	0.223	0.216	0.218	7.379	92.621
240*	0.212	0.217	0.212	0.214	7.244	92.756
300*	0.213	0.223	0.213	0.216	7.312	92.688
360*	0.216	0.217	0.213	0.215	7.278	92.722
420*	0.223	0.211	0.211	0.215	7.278	92.722
480*	0.217	0.203	0.212	0.211	7.143	92.857
540*	0.220	0.218	0.205	0.214	7.244	92.736
600	0.960	0.936	0.979	0.958	6.486	93.514
660	0.923	0.945	0.957	0.942	6.378	93.622
720	0.932	0.952	0.952	0.945	6.398	93.602

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 13

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

5. ผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลส 4 กรัม เวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 200รอบต่อนาที แปรค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลู เป็น 50 100 150 200 250 300 350 400 450และ500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดไม่ปรับสภาพ							
ความเข้มข้น เริ่มต้น(มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _c (mg/l)	%R (%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
50	0.280	0.231	0.273	0.261	1.624	96.752	1.814
100	0.578	0.576	0.557	0.570	3.547	96.453	3.617
150	0.942	0.955	0.951	0.949	5.905	96.063	5.404
200*	0.386	0.392	0.370	0.383	11.917	94.042	7.053
250*	0.535	0.521	0.575	0.544	16.926	93.230	8.740
300**	0.340	0.348	0.345	0.344	21.406	92.865	10.447
350**	0.409	0.412	0.415	0.412	25.638	92.675	12.164
400**	0.484	0.486	0.482	0.484	30.118	92.471	13.871
450**	0.559	0.560	0.558	0.559	34.785	92.270	15.571
500**	0.640	0.632	0.640	0.637	39.639	92.072	17.264

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 12

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

** คือ มีการเจือจาง 10 เท่า

ตัวดูดซับเซลล์โลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 15%							
ความเข้มข้น เริ่มต้น(มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _c (mg/l)	%R (%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
50	0.208	0.176	0.173	0.186	1.252	97.496	1.828
100	0.387	0.410	0.411	0.403	2.712	97.088	3.648
150	0.665	0.712	0.680	0.686	4.616	96.923	5.452
200	0.972	0.997	1.030	0.999	6.723	96.639	7.248
250*	0.387	0.370	0.385	0.381	12.820	94.872	8.894
300*	0.525	0.519	0.521	0.522	17.564	94.145	10.591
350*	0.600	0.591	0.603	0.589	20.121	94.251	12.370
400**	0.413	0.402	0.410	0.408	27.456	93.136	13.970
450**	0.430	0.429	0.431	0.430	28.937	93.570	15.790
500**	0.461	0.449	0.453	0.454	30.552	93.890	17.604

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 9

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

** คือ มีการเจือจาง 10 เท่า

ตัวดูดซับเซลล์ูโลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20%							
ครั้งที่ ความเข้มข้น เริ่มต้น(มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _c (mg/l)	%R (%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
50	0.249	0.253	0.251	0.251	1.699	96.602	1.811
100	0.517	0.539	0.485	0.514	3.480	96.520	3.619
150	0.918	0.945	0.933	0.932	6.310	95.793	5.388
200*	0.389	0.403	0.400	0.397	13.439	93.281	6.996
250*	0.544	0.551	0.558	0.551	18.653	92.539	8.676
300*	0.703	0.675	0.698	0.692	23.426	92.191	10.372
350*	0.800	0.784	0.803	0.796	26.947	92.301	12.114
400*	0.815	0.849	0.821	0.828	28.030	92.993	13.949
450**	0.502	0.507	0.503	0.504	34.123	92.417	15.595
500**	0.539	0.531	0.533	0.534	36.154	92.769	17.394

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 13

* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

** คือ มีการเจือจาง 10 เท่า

ตัวดูดซับเซลลูโลสชนิดปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 25%							
ครั้งที่ ความเข้มข้น เริ่มต้น(มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง			เฉลี่ย	C _c (mg/l)	%R (%)	X/M (mg/g)
	1	2	3				
50	0.493	0.490	0.500	0.494	3.347	93.306	1.749
100*	0.199	0.204	0.201	0.201	6.804	93.196	3.495
150*	0.319	0.327	0.317	0.321	10.867	92.756	5.218
200*	0.449	0.450	0.439	0.446	15.098	92.451	6.934
250*	0.580	0.592	0.583	0.585	19.804	92.079	8.632
300*	0.731	0.728	0.738	0.732	24.780	91.740	10.321
350*	0.849	0.860	0.857	0.855	28.944	91.730	12.040
400**	0.502	0.491	0.489	0.494	33.446	91.638	13.746
450**	0.566	0.565	0.564	0.565	38.253	91.499	15.441
500**	0.637	0.632	0.631	0.633	42.857	91.429	17.143

หมายเหตุ : กราฟมาตรฐานที่ 13

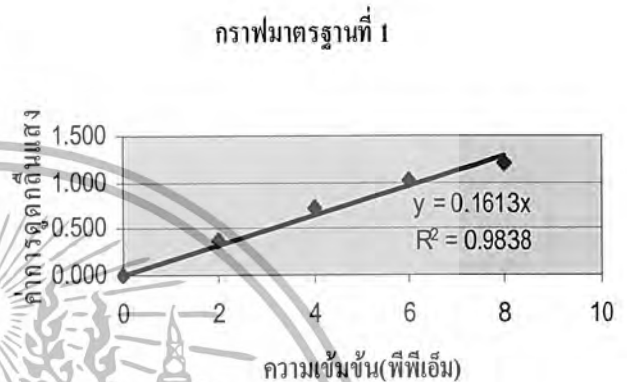
* คือ มีการเจือจาง 5 เท่า

** คือ มีการเจือจาง 10 เท่า

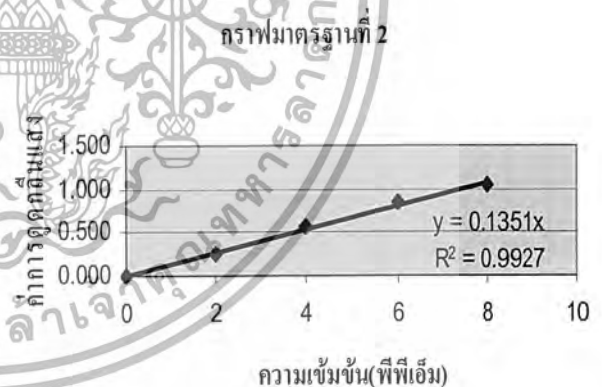
6. ผลการทำกราฟมาตรฐานสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลู

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง : ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมธิลีนบลูเป็น 2 4 6 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

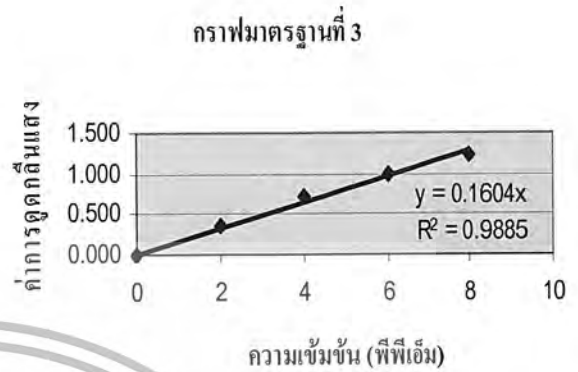
1. กราฟมาตรฐานที่ 1	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.368
4	0.721
6	1.006
8	1.212



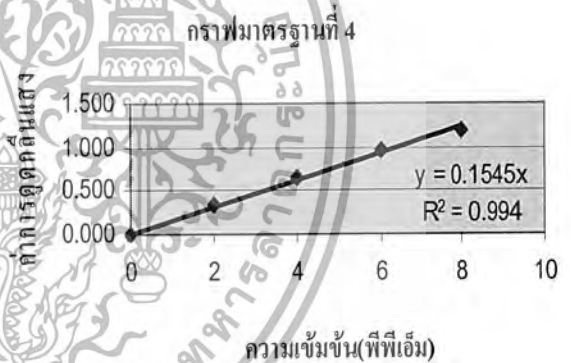
2. กราฟมาตรฐานที่ 2	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.255
4	0.580
6	0.848
8	1.036



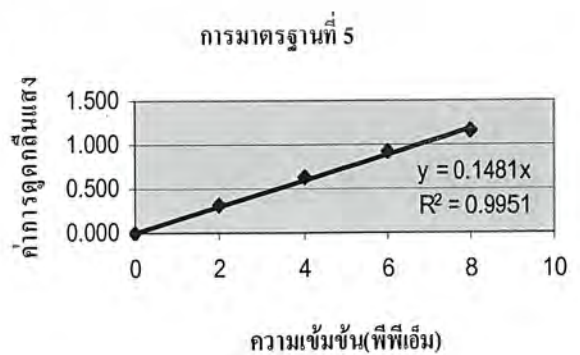
3. กราฟมาตรฐานที่ 3	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.364
4	0.706
6	0.990
8	1.219



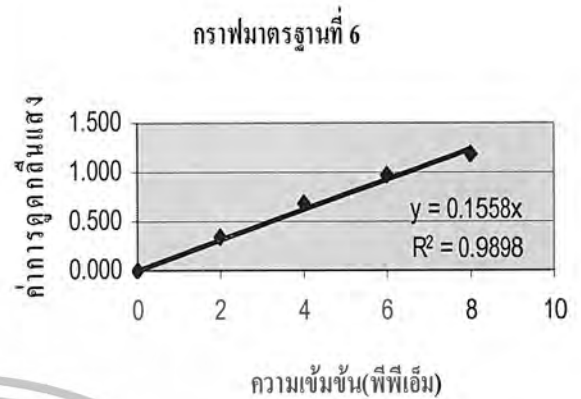
4. กราฟมาตรฐานที่ 4	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.331
4	0.663
6	0.953
8	1.189



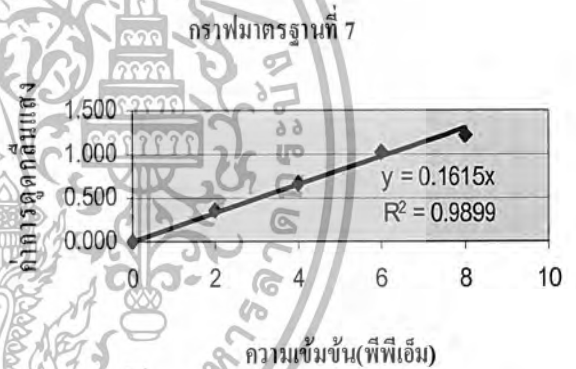
5. กราฟมาตรฐานที่ 5	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.321
4	0.631
6	0.908
8	1.145



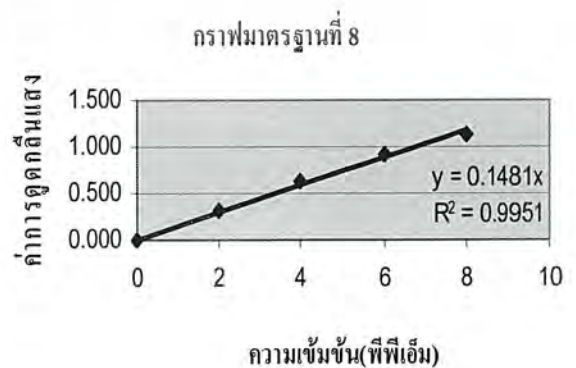
6. กราฟมาตรฐานที่ 6	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.335
4	0.680
6	0.974
8	1.183



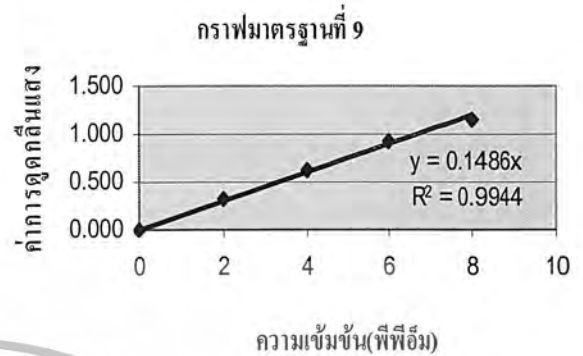
7. กราฟมาตรฐานที่ 7	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.371
4	0.674
6	1.020
8	1.228



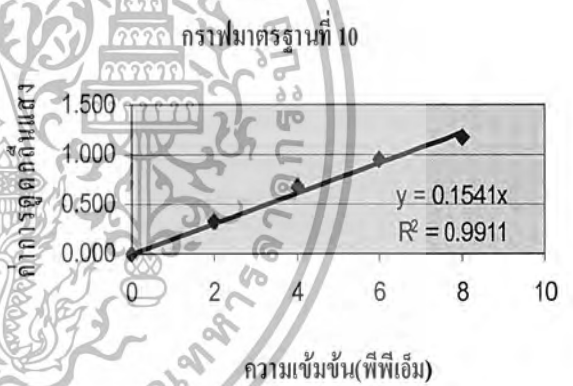
8. กราฟมาตรฐานที่ 8	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.311
4	0.629
6	0.916
8	1.142



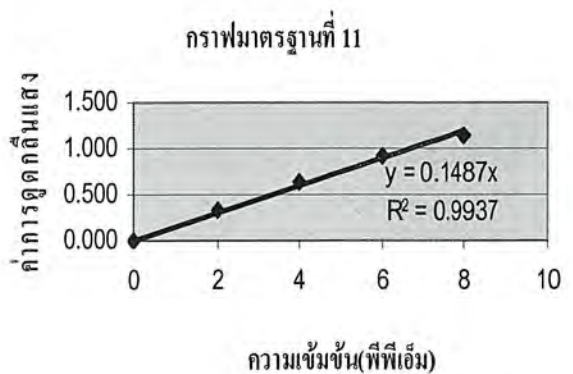
9. กราฟมาตรฐานที่ 9	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.324
4	0.624
6	0.923
8	1.143



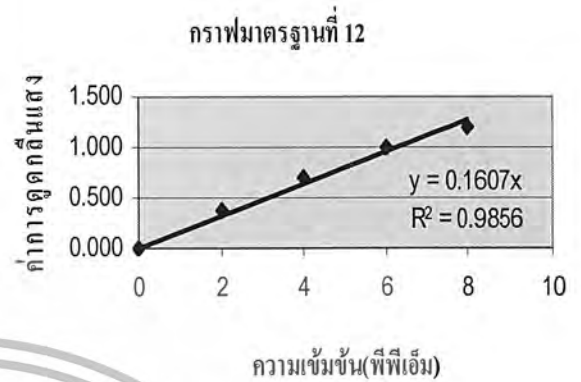
10. กราฟมาตรฐานที่ 10	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.330
4	0.668
6	0.961
8	1.174



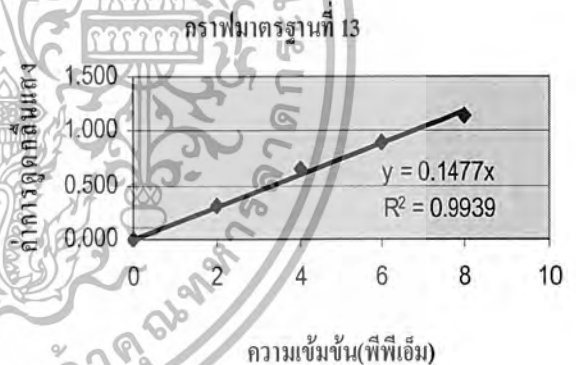
11. กราฟมาตรฐานที่ 11	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.327
4	0.636
6	0.916
8	1.144



12. กราฟมาตรฐานที่ 12	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.369
4	0.711
6	1.000
8	1.212



13. กราฟมาตรฐานที่ 13	
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
2	0.312
4	0.641
6	0.906
8	1.138



7. ผลการคำนวณค่า T-Test

สภาวะที่กำหนด	ชนิดที่ 2 - 1				ชนิดที่ 2 - 3				ชนิดที่ 2 - 4			
	ค่าเฉลี่ย		ความแปรปรวน		ค่าเฉลี่ย		ความแปรปรวน		ค่าเฉลี่ย		ความแปรปรวน	
	2	1	2	1	2	3	2	3	2	4	2	4
ค่าพีเอช 5	0.334	0.425	1.630	1.600	0.334	0.538	1.630	1.850	0.334	1.005	1.630	16.000
ปริมาณตัวดูดซับเซลลูโลส 4 กรัม	0.401	0.681	0.280	21.300	0.401	0.729	0.280	0.003	0.401	1.065	0.280	12.200
เวลาสัมพัทธ์ 360 นาที	0.405	0.675	0.120	0.160	0.405	0.696	0.120	1.840	0.405	1.073	0.120	2.850
ความเข้มข้นเริ่มต้น 100มิลลิกรัมต่อลิตร	0.403	0.570	1.840	1.340	0.403	0.514	1.840	7.370	0.403	1.007	1.840	1.580

หมายเหตุ : ความแปรปรวนทุกค่าคูณ 10^{-4} ด้วย และจำนวนซ้ำที่ใช้ (n) คือ 3

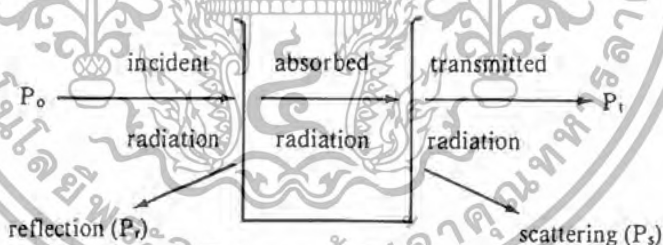
ภาคผนวก จ.

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible spectroscopy) [7]

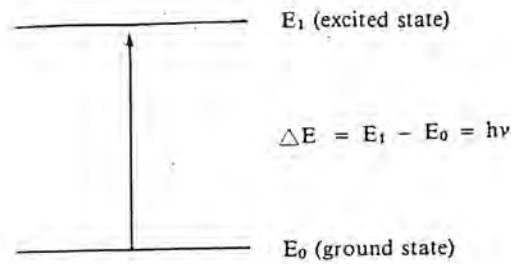
การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร (nm) ของสารเคมีนั้นส่วนใหญ่ได้แก่พวกสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนหรือสารอนินทรีย์ทั้งที่มีสีและไม่มีสีสมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำดี และมีสภาพไวสูง (Sensitivity) สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้ แต่ในกรณีที่ต้องนำมาพิสูจน์ว่าสารนั้นเป็นสารอะไร มีโครงสร้างอย่างไร อาจจะต้องใช้เทคนิคอย่างอื่นเข้ามาช่วยด้วย เพื่อให้เกิดความแน่ใจเช่นใช้เทคนิคทาง IR หรือ NMR Spectroscopy เป็นต้น

โดยทั่วไปเทคนิคการวิเคราะห์บางครั้งนิยมเรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์มีสีหรือทำให้เกิดสีขึ้น สารที่มีสีนั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลอาจเรียกว่า คัลเลอร์ิเมตรี



รูปที่ 1.1 การเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกันผ่านเข้าไปในวัตถุใด จะพบแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนทะลุออกไปดังแสดงในรูปที่ 1.1 ถ้าให้แสงทะลุออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึม หรือเกรตติง) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปเรียกว่า Absorption Spectrum พลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 กระบวนการเกิดการกระตุ้น (แม้น อมรสิทธิ์, 2539)

หลักในการหาปริมาณของสารกับการวัดปริมาณของแสงที่ดูดกลืน

ในการวัดปริมาณของแสงหรือ Radiation ที่ถูกดูดกลืนด้วยสารตัวอย่างนั้น เราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณของแสงที่ทะลุผ่านออกมาโดยเปรียบเทียบกับแสงที่ทะลุผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กระบวนการวัดการดูดกลืนแสง (แม้น อมรสิทธิ์, 2539)

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของ Radiant Power ที่เกิดจากผ่าน Monochromatic Radiation เข้าไปยังเซลล์ ซึ่งใส่แต่ตัวทำละลายกับสารอื่นๆ ซึ่งไม่มีสารที่ดูดกลืนเรียกว่า Blank Solution ดังนั้น Radiant Power ที่ผ่านทะลุออกมาให้เป็น P_0 แสดงดังสูตร

$$A = \epsilon bc = \log P_0/P$$

A = แอบซอร์เบ้นซ์ (Absorbance)

ϵ = โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (Molar Absorptivity)

b = ความกว้างของเซลล์ (cm)

c = ความเข้มข้นของสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าความเข้มข้นเป็น กรัม/ลิตร หรือหน่วยอื่น ให้เขียนเป็น

$$A = abc$$

ทั้ง ϵ และ a เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารและความยาวคลื่น

กฎของเบียร์ (Beer's Law) หรือกฎของเบียร์แลมเบิร์ต (Beer and Lambert's) ซึ่งกล่าวสั้นๆ ได้ว่า “ค่าแอมซอร์ปแทนซ์ของสารละลายจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้น”

ความสัมพันธ์ ของ A และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์

$$P_0/P = T$$

$$100P/P_0 = \%T$$

$$\log 100 P/P_0 = \log \%T$$

$$2 + \log P/P_0 = \log \%T$$

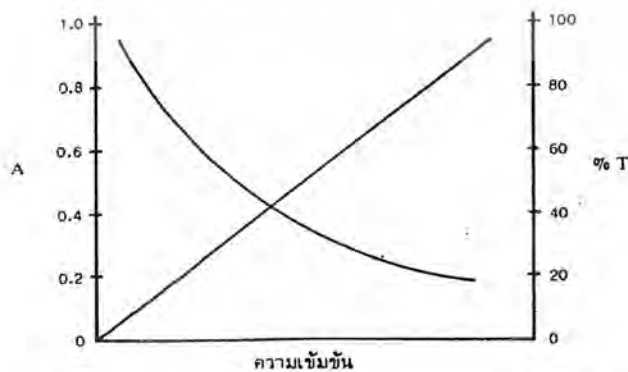
$$2 - A = \log \%T$$

$$A = 2 - \log \%T$$

การที่เราได้กฎของเบียร์เป็น $A = \epsilon bc$ นี้เราได้สมมติว่า

1. แสงหรือ Radiant Power ที่ใช้ผ่านสารละลายหรือวัตถุนั้นต้องเป็น Monochromatic Radiation
2. กระบวนการดูดกลืนแสงของแต่ละอนุภาคนั้นจะต้องไม่ขึ้นแก่กัน นั่นคือ สารละลายจะต้องเจือจาง
3. สารละลายที่นำไปวัดจะต้องเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน

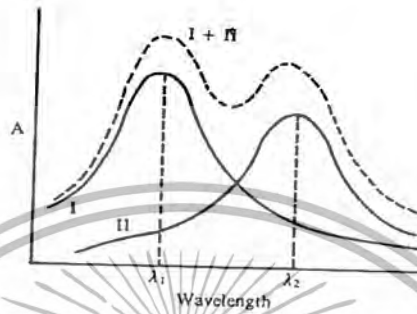
ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า A กับความเข้มข้นจะได้กราฟเส้นตรง แต่ถ้าเขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์กับความเข้มข้นจะได้กราฟเป็นเส้นโค้ง ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมซอร์ปแทนซ์และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์กับความ

เข้มข้นของสารละลาย (แม้น อิมรลิตซ์, 2539) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

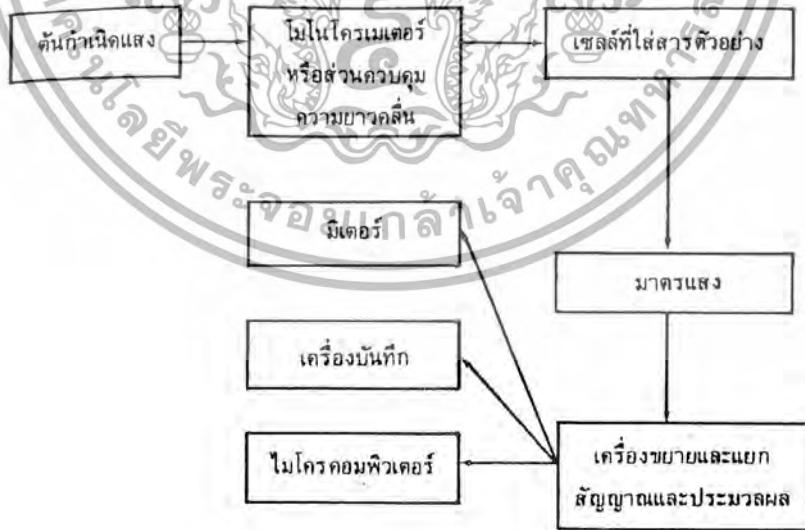
กฎของเบียร์สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารหลายชนิดผสมกัน โดยที่แต่ละชนิดมีสมบัติไม่ขึ้นแก่กันและกันค่าแอมพลิจูดแบนท์วูดได้จะเป็นผลรวมของแอมพลิจูดแบนท์ของสารแต่ละชนิด ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แอมพลิจูดแบนท์ของสาร I, II และผลรวมของผลรวม (I+II) (แม้น อมรสิทธิ์, 2539)

ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 1.6



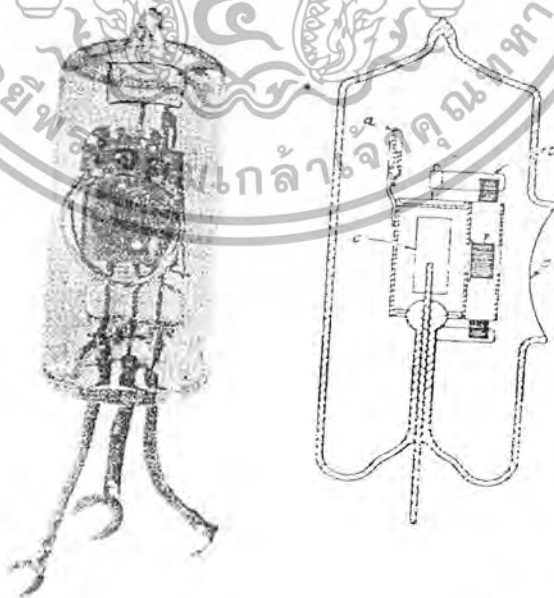
รูปที่ 1.6 องค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (แม้น อมรสิทธิ์, 2539)

1. ต้นกำเนิดแสง (Light Source)

ต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในงานสเปกโทรโฟโตเมตรีนั้นจะต้องมีลักษณะดังนี้

1. จะต้องให้ลำแสง (Beam of Radiation) ที่มีกำลังพอที่จะวัดได้ด้วยมาตรแสง (photometer)
2. จะต้องให้การแผ่รังสี (Radiation) ออกมาตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ
3. จะต้องให้การแผ่รังสีที่คงที่ตลอดเวลา นั่นคือ P_0 ต้องคงที่ มิฉะนั้นแล้วผลการวิเคราะห์จะไม่แม่นยำหรือไม่มีความเที่ยง

สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีนั้น ต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นหลอดไฮโดรเจน หรือหลอดควทอเลียม ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 nm ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจนหรือควทอเลียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ช่องที่จะให้แสงออกจากหลอดจะต้องทำด้วยควอรัตหรือ Fused Silica แต่ถ้าใช้วัสดุอื่น เช่น แก้ว จะดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ ทั้งหลอดไฮโดรเจนและหลอดควทอเลียมจะบรรจุด้วยแก๊สไว้ที่ความกดดันต่ำ (5 มม.ปรอท) และใช้ระบบไฟฟ้าชนิด D.C. ขนาด 40 โวลต์เท่านั้น ทั้งหลอดควทอเลียมและหลอดไฮโดรเจนมีอายุใช้งานจำกัด แต่หลอดควทอเลียมซึ่งมีราคาแพงกว่าจะมีอายุการใช้งานมากกว่า และใช้ความเข้มของแสงมากกว่าด้วย

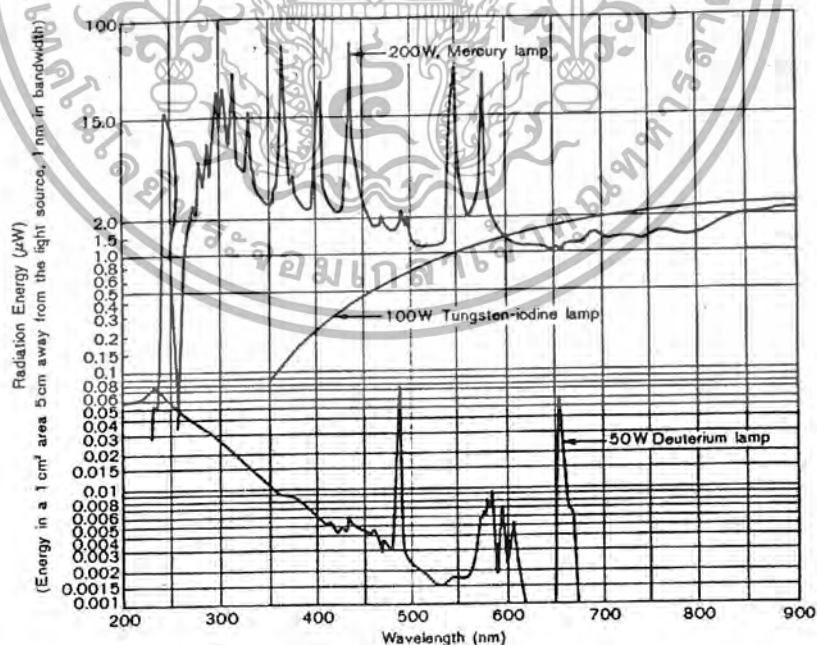


รูปที่ 1.7 ลักษณะของหลอดไฮโดรเจน (a) เป็นตัวกำเนิดแก๊สและสิ่งปนเปื้อน (b) เป็นไส้หลอด (c) เป็นขั้วบวก (d) เป็นหน้าต่าง (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดทังสเตน (Tungsten Filament Lamp) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับหลอดไฟธรรมดา โดยใช้ไส้หลอดเป็นโลหะทังสเตน เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไฟ หลอดทังสเตนจะถูกเผาให้ร้อน และเปล่งแสงออกมาอยู่ในช่วง 320-2500 nm ถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ลักษณะของสเปกตรัมจะเคลื่อนที่ไปทางความยาวคลื่นสั้นมากขึ้น แต่อายุหลอดก็สั้นเข้าเช่นกัน จึงได้ปรับปรุงให้หลอดมีอายุยาวขึ้นโดยใส่แก๊สไอโอดีนหรือแก๊สโบรมีนที่ความดันต่ำไปหลอดที่ทำด้วย Fused Silica เรียกว่าหลอดควอร์ตซ์-แฮโลเจน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันนี้

นอกจากนี้ยังมีหลอดชนิดอื่นๆ ที่ใช้เป็นต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลในการผลิตเครื่องมือบางชนิด หลอดดังกล่าวนี้ ได้แก่ หลอดไฮปรอทที่ความดันต่ำให้แสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 365 nm (ความจริงสเปกตรัมมี 3 เส้น คือ 365.0, 365.5, 366.3 nm) ซึ่งไม่ค่อยนิยมใช้กับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ อีกชนิดหนึ่งคือหลอดซินอน หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่มีความเข้มของแสงสูง โดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านบรรยากาศของซินอนจะได้ Continuous Spectrum อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 250-600 nm แต่จะให้ความเข้มสูงที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 nm หลอดซินอนนี้ไม่ค่อยนิยมใช้ในเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แต่จะใช้ในเครื่องมืออื่นดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 พลังงานของรังสีซึ่งมีลักษณะเฉพาะของหลอดคิวเทอร์เรียม หลอดไฮปรอท และหลอดทังสเตน ไอโอดีน (แมน อมรสิทธิ์, 2539)

2. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)

ส่วนประกอบนี้ถือว่าเป็นหัวใจของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครมาติก (คือแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโมโนโครมาติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ ความจริงโมโนโครมาเตอร์ประกอบด้วย

1. ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่จะผ่านออกไปยังสารตัวอย่าง โดยคิดต่อพื้นที่ที่แสงผ่าน ดังนั้นความกว้างของสลิตจึงเป็นส่วนสำคัญ

2. กระจกและเลนส์ เพื่อใช้ทำให้แสงเกิดการสะท้อนไปมาในเครื่อง บางครั้งทำให้แสงเกิดการรวมกัน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ให้เล็กลง และบางครั้งทำให้แสงกลายเป็นแสงขนาน

3. ส่วนที่ใช้ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ กันเพื่อให้เหมาะแก่การเลือกใช้ หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงคลื่นแสงที่ต้องการ อุปกรณ์ส่วนนี้อาจประกอบด้วย

1) ฟิลเตอร์

2) ปริซึม

3) เกรตติง เกรตติงที่ใช้ด้วยกันมีอยู่สองแบบ

1. ทรานมิสชันเกรตติง ทำด้วยวัสดุโปร่งใส เพื่อให้แสงผ่านได้ เป็นกระจกแล้วนำมาขีดให้ร่องขนานกัน จำนวนช่องต่อมิลลิเมตรมีมากน้อยได้แตกต่างกัน เกรตติงชนิดนี้ไม่ค่อยนิยมใช้แล้ว

2. รีเฟลกชันเกรตติง หรือเกรตติงแบบสะท้อนแสง เป็นเกรตติงที่ใช้การสะท้อนแสง ดังนั้นผิวหน้าของวัสดุที่ใช้ทำจะต้องเรียบและสะท้อนแสงได้ ใช้ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล จะต้องมีจำนวนร่อง 300-2,000 ร่อง ต่อ มม. แต่ที่ใช้กันทั่วไปอยู่ราว 1,200 ต่อ มม.

4. ช่องแสงออก เป็นส่วนที่ปล่อยให้แสงที่ผ่านสารตัวอย่างแล้วผ่านไปยังมาตรวัดแสง ตลอดจนเป็นส่วนที่ช่วยตัดแสงที่รบกวนอีกด้วย โดยทั่วไปช่องแสงเข้าและช่องแสงออกจะเปิดเท่ากันหรือสามารถปรับได้ตามต้องการ

3. ส่วนที่วางสารตัวอย่างที่วัด

เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบกับ แล้วนำไปใส่ที่สำหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิด เพื่อกันแสงจากภายนอกเข้าไป และถูกกันออกจากส่วนที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์

4. เครื่องวัดแสง

เครื่องที่ใช้สำหรับวัดแสงมีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบอาจแตกต่างกัน บางทีมีความกว้างของช่วงคลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบได้ ความเร็วของการตอบสนอง สภาพไวของการรับแสง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อต้องการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดแสงที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

- 1) มีสภาพไวสูง
- 2) การตอบรับแสงเป็นแบบสภาพเชิงเส้น
- 3) ระดับของสัญญาณรบกวนจะต้องมีน้อย
- 4) การตอบสนองต่อแสงขึ้นอยู่กับความถี่หรือความยาวคลื่นของแสง
- 5) เครื่องจะต้องมีเสถียรภาพที่ดี ค่าที่วัดได้ไม่ควรแปรปรวนมาก
- 6) ขนาดไม่ควรใหญ่เกินไป
- 7) ราคาถูก

5. เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรืออาจเปลี่ยนสัญญาณ D.C. เป็น A.C. หรือ A.C. เป็น D.C. อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป หรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออก (และเข้ากระบวนการทางคณิตศาสตร์) เข้าเครื่องอินทิเกรชันให้เป็น log Scale เป็นต้น

จากนั้นสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์หึ่งที่ได้เสนอออกมามีหลายรูปแบบโดยต่อเข้ากับ

- 1) มิเตอร์ มีสเกลอ่านทั้งที่เป็น Linear Scale และ Logarithm Scale บอกค่า Absorbance และ %Transmittance
- 2) ดิจิตัลมิเตอร์ โดยเสนอค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข Absorbance และ %Transmittance หรือ Concentration
- 3) เครื่องบันทึก เรคอร์ดเดอร์ หรือพินเตอร์ซึ่งสามารถเขียนสเปกตรัม พิมพ์ข้อมูลที่ต้องการได้ หรือเขียนกราฟที่ได้
- 4) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ หรือไมโครเพรสเซสเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานต่างๆ ของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้ในการคำนวณผลการทดลอง เขียนกราฟผลการทดลอง พิมพ์ข้อมูลและผลการทดลองทั้งหมดได้ ตลอดจนชี้สาเหตุการขัดข้องได้ด้วยดังนั้น เครื่องมือวัดทางสเปกโทรสโกปีทั้งหลายในปัจจุบันนี้จึงนิยมต่อเข้าคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะเครื่อง

สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โคโอดอาร์เรย์เป็นมาตรวัดแสงด้วยแล้ว คอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการเก็บ แปล และคำนวณสัญญาณที่ได้

จึงจำเป็นต้องใช้เครื่อง

2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

[7]

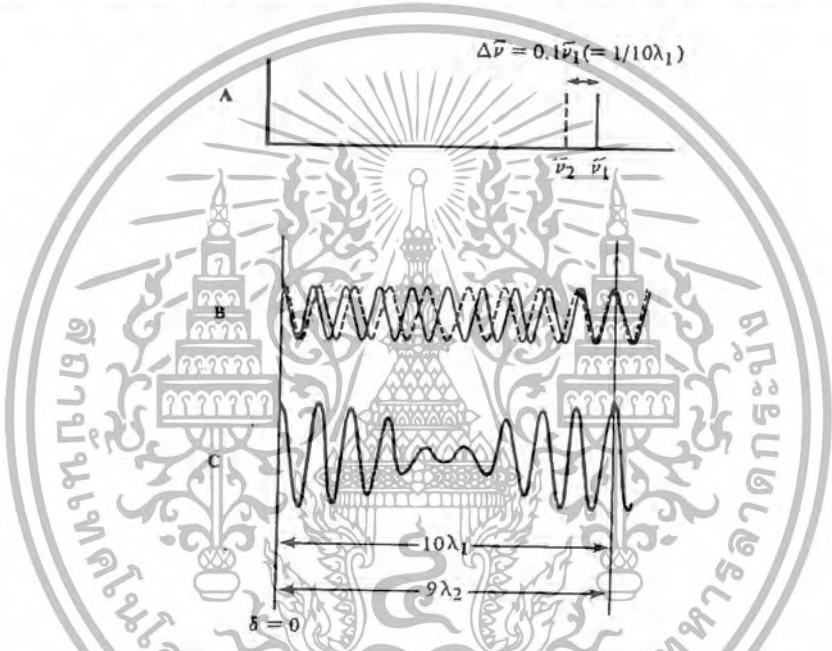
โดยทั่วไปเครื่องมือทางสเปกโทรสโกปีนั้นมักจะใช้หลักการกระจายแสง (Dispersion) ของสเปกตรัมการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่สนใจเป็นตัวกำหนด เช่น ในช่วงของอินฟราเรด ดังได้กล่าวมาแล้ว จากการบันทึกผลของค่าความเข้มของแสงต่อความถี่ หรือความยาวคลื่น หรือ Wave Number ซึ่งเป็นสเปกตรัมเรียกว่า Frequency-Domain Spectrum ดังที่เห็นกันอยู่ทั่วไป แต่ถ้าใช้วิธีการวัดที่ต่างไป โดยวัดความเข้มของแสง หรือกำลังของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ กันอย่างต่อเนื่องเทียบกับเวลา เรียกว่า Time-Domain Spectroscopy หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Fourier Transform Spectroscopy จากนั้น Time-Domain Spectrum จะถูกเปลี่ยนเป็น Frequency-Domain Spectrum ด้วย Fourier Transform จากการใช้ดิฟฟิราคชันคอมพิวเตอรื สิ่งทีสเปกตรัมทั้งสองแตกต่างกันจริงๆ ก็คือ Frequency-Domain Spectrum เป็นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆ กันทีละครั้งในช่วงระยะเวลาอันหนึ่ง แต่ Fourier Transform Spectrum ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆ กันพร้อมกันหมด ดังนั้น Fourier Transform จึงช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น การแยก (Resolution) ก็ดีขึ้น หรือเป็นการทำให้ Signal-to-Noise Ratio ดีขึ้นกว่าวิธีธรรมดา รูปที่ 2.1 ให้เห็นถึงความแตกต่างของ Frequency-Domain Spectrum (Spectrum A) กับ Time-Domain Spectrum (Spectrum B และ C) ในขณะที่ Time-Domain Spectrum ดูยังไม่ค่อยได้ประโยชน์โดยตรงจริงๆ จึงไม่มีใครสนใจรวบรวม Time-Domain Waveform ไว้ ประกอบกับดีเทคเตอร์ที่ใช้อยู่มีสภาพไวที่ไม่เหมาะสม Response Time ก็ช้ามากๆ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องให้แสงที่เข้ามายังดีเทคเตอร์มีความถี่พอเหมาะเสียก่อน โดยใช้ Michelson Interferometer ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ลำแสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดมีความยาวคลื่น λ_1 จะถูกแยกออกเป็นสองลำแสงด้วย Beam Splitter ลำแสง A จะเดินทางไปในระยะทางที่คงที่ ส่วนลำแสง B จะเดินทางไปในระยะที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกระจก B เมื่อลำแสง A และ B มารวมกันจะเกิดการแทรกสอด (Interference) ขึ้น ถ้าระยะทางที่ลำแสง A และ B เดินทางนั้นเท่ากันจะเกิดการแทรกสอดที่เสริมกัน (Constructive Interference) ทำให้สัญญาณที่วัดได้จากดีเทคเตอร์สูงสุด แต่ถ้ากระจก B เปลี่ยนตำแหน่งไป $\lambda_{1/4}$ ลำแสง B จะเดินทางคิดเป็นระยะทางเปลี่ยนไปเท่ากับ $\lambda_{1/2}$ ของระยะทางที่ลำแสง A เดินทาง ดังนั้นเมื่อลำแสง A และ B รวมกันจะเกิดการแทรกสอดที่หักล้างกัน สัญญาณที่วัดได้จากดีเทคเตอร์จะลดลง แต่ถ้ากระจก B จะมีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่สม่ำเสมอติดต่อกัน

เพื่อให้ได้สัญญาณสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.1B ค่าความถี่ f ที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลขึ้นอยู่กับความถี่ ν ของกระจก B และความยาวคลื่นของแสงด้วย นั่นคือ

$$f = \nu / (\lambda/2) = 2\nu / \lambda$$

$$= 2\nu \text{ sec}^{-1} \quad \dots\dots\dots 2.1$$

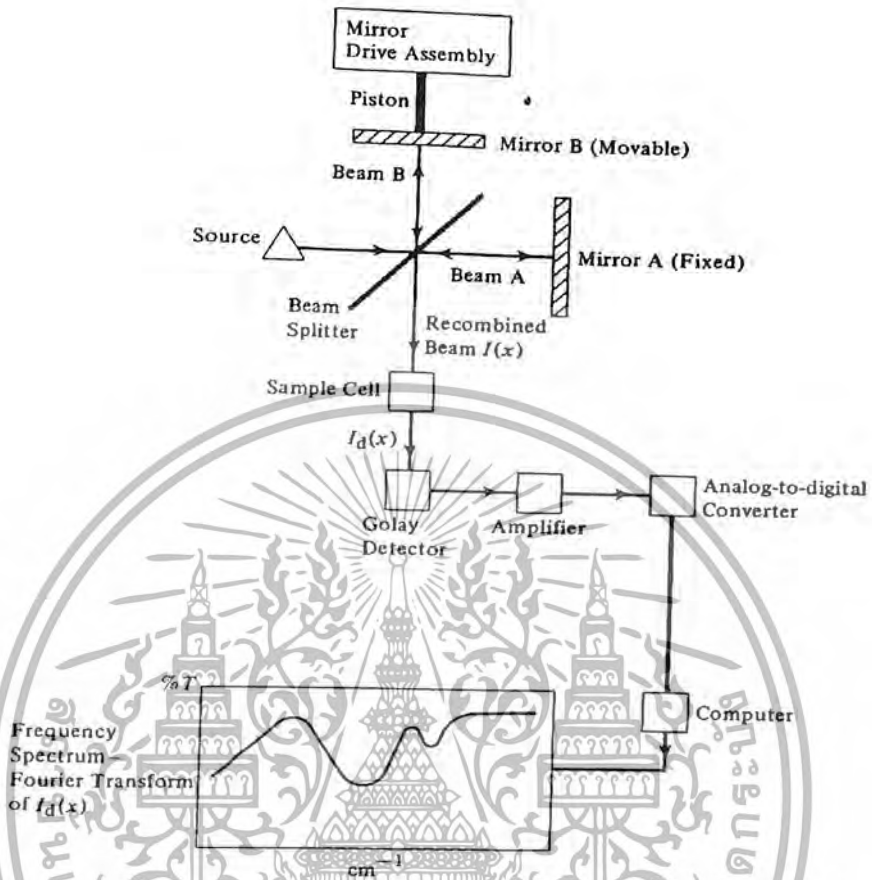
ด้วยการกระทำเช่นนี้ Interferometer จะผลิตสัญญาณที่เป็นปฏิภาคกับความถี่ของแสง ซึ่งดิฟเฟอเรนเชียลสามารถวัดได้ ดังสมการที่ 2.1 แล้วสัญญาณนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น Frequency-Domain Spectrum ด้วยคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้สเปกตรัมออกมาตามปกติที่เครื่องบันทึก



รูปที่ 2.1 โดอะแกรมสาธิตการหา Resolution โดยการหน่วง Interferometer
 A อิมิตชันสเปกตรัมที่มี Frequency การแยกสเปกตรัมทั้งสอง
 B เป็น Interferograms ของแต่ละ Lines
 C เป็นผลของ Interferograms A และ B แสดงว่ามันอยู่ในเฟสที่ความหน่วง

ข้อดีของการใช้เทคนิค Fourier Transform ที่เห็นได้ชัดๆ ก็คือ ช่วยให้การวิเคราะห์ หรือ การวัดสเปกตรัมของสารตัวอย่างทำได้เร็วกว่าเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ธรรมดาหลายเท่า เพราะการวัดด้วยเครื่องธรรมดาจะเป็นแบบวัดทีละความถี่ (Sequentially) แต่ FT-IR วัดที่ความถี่ต่างๆ อย่างต่อเนื่อง (Simultaneously) เรียกว่า Fellgetts Advantage สามารถใช้ Circular Entrance Aperture แทน Entrance Slit ได้ ทำให้ได้กำลังแสงสูงขึ้น เรียก Jacquinot's Advantage และยังช่วยให้การแยก (Resolution) และความถูกต้องดีขึ้น เรียกว่า Conne's Advantage ประการ

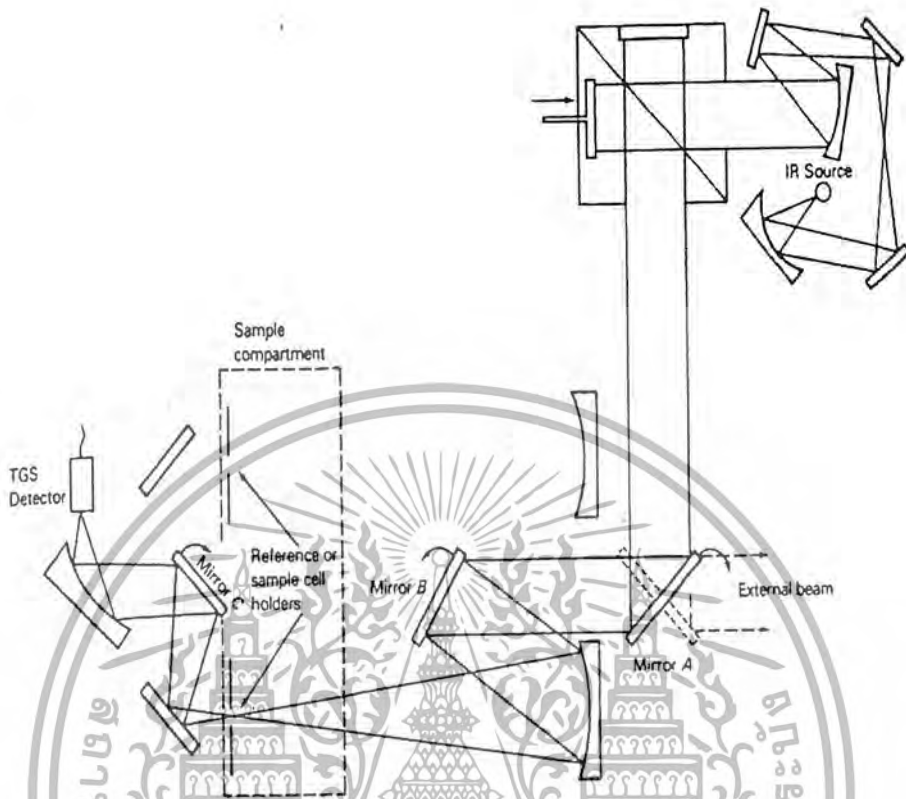
สุดท้าย FT-IR ยังสำคัญสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Interferometer และส่วนประกอบต่างๆ ที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์

ช่วยทำให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น และสะดวกขึ้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม และทำงาน ข้อเสียที่สำคัญคือ FT-IR เป็นเครื่องที่มีราคาแพง และต้องเสียค่าทำนุบำรุงสูง อย่างไรก็ตาม เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ควรจะอยู่ในห้องที่ควบคุมความชื้นตลอดเวลา แต่มีเครื่อง FT-IR Spectrophotometer ที่ผลิตจากบางบริษัทสามารถตั้งอยู่ในห้องที่ไม่ต้องควบคุมความชื้น

ลักษณะการออกแบบทางเดินของแสงของ Double Beam Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การออกแบบของเครื่อง Double-Beam Fourier Transform Infrared Spectrometer

การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง (Solid Sample)

ในกรณีที่ต้องการอินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง โดยไม่มีผลของตัวทำละลาย หรือสารอื่นๆ ผลสมอยู่เกี่ยวข้อง นั่นคือมีแต่เฉพาะตัวอย่างเท่านั้น จำเป็นจะต้องทำให้สารตัวอย่างมีลักษณะบางมากๆ เป็นฟิล์มที่หนาประมาณ 0.01-0.1 มม. เพื่อให้แสงผ่านได้ เทคนิคต่างๆ ที่จะเลือกใช้ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของสารนั้นด้วยเทคนิคต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1. ใช้วิธีอัด และรีดให้เป็นแผ่นบางๆ ด้วยโลหะบนแผ่นโลหะเรียบ หรือแผ่นพลาสติก หรือบนแผ่นโลหะที่ฉาบด้วยพวกพอลิเมอร์ที่ทนความร้อน เมื่อนำสารตัวอย่างไปอัด และรีดจนได้แผ่นบางๆ หรืออาจให้ความร้อนในขณะอัด และรีดด้วยก็ได้ เทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้กับสารตัวอย่างที่เป็นพลาสติก ถ้าสารตัวอย่างไม่แข็งมากนัก อาจใช้ Windows 2 แผ่น รีดสารตัวอย่างก็ได้ แต่จะต้องระวังการแตกของ Windows ด้วย

2. ใช้วิธีหลอม ถ้าสารตัวอย่างมีมวลโมเลกุลต่ำ อาจหลอมเหลวได้ง่าย แล้วนำสารตัวอย่างที่หลอมเหลวเทลงไปในบนแผ่นโลหะเรียบให้เป็นแผ่นบางๆ หรือเทลงไปในระหว่างแผ่น Windows 2 แผ่น ประกบกันแล้วทิ้งไว้ให้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในกรณีที่สารตัวอย่างเป็นพวกชีวสาร พลาสติก หรือซีพิ้ง เป็นต้น อยู่ในรูปเป็นก้อน หรือเป็นแท่ง สามารถใช้ไมโครโทมตัดให้เป็นแผ่นบางๆ ได้

4. ใช้วิธีทำให้เป็นสารละลาย โดยใช้สารตัวอย่างละลายในตัวทำละลายที่ระเหยได้ง่ายๆ แล้วนำสารละลายนั้นเทลงบนแผ่นกระจก หรือแผ่นโลหะที่ขัดมัน หรือแผ่นพลาสติก หลังจากตัวทำละลายระเหยออกไปแล้วใช้มีดตัดแผ่นฟิล์มออกมา ถ้าสารตัวอย่างนั้นไม่ละลายน้ำ ให้นำแผ่นฟิล์มจุ่มลงไปใต้น้ำหลังจากทำให้แห้งแล้วจะสังเกตเห็นว่ามีแผ่นฟิล์มตรงกลางจะบางกว่าที่ขอบ เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้สารละลายให้มีความเข้มข้นมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังคงมีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย

5. ใช้ Mull Technique วิธีนี้ได้รับความนิยมมากสำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง

อุปกรณ์ และวัสดุที่ต้องใช้มี

โกร่งอะเกต (Agate Mortar) พร้อมสาก

Mineral Oil หรือเรียก Nujol หรือพาราฟินเหลว หรืออาจใช้ Hexachlorobutadiene หรือ Fluorolube ซึ่งเป็น Perfluorokerosene

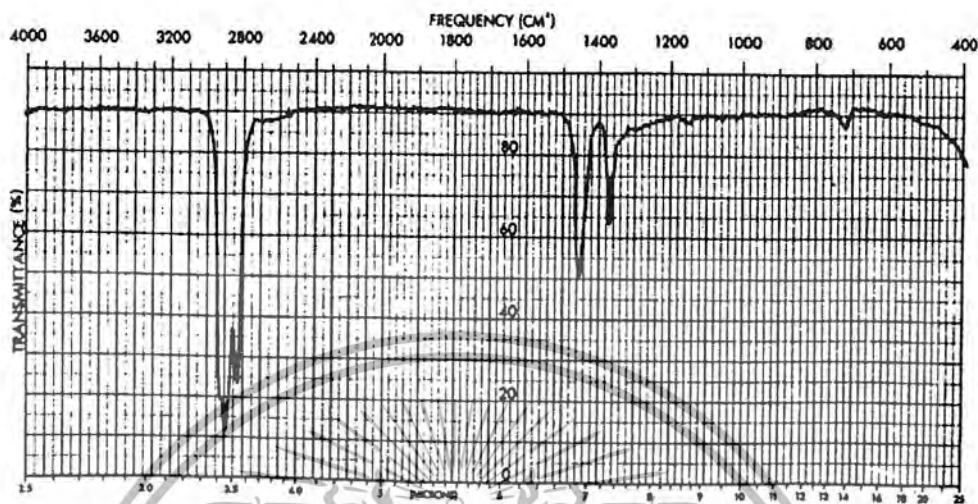
ในการเตรียมสารตัวอย่างด้วยเทคนิคนี้คือ

ใช้สารตัวอย่าง 2-3 มก. บดให้ละเอียดด้วยโกร่งอะเกต หรือ Ball Mill เล็กๆ แล้วหยด Nujol ลงไป 1-2 หยด แล้วบดต่อไปจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำสารตัวอย่างที่บดได้นี้ไปใส่ลงบน NaCl Window หรือ Window อื่นๆ เพียงเล็กน้อย แล้วเอาอีกแผ่นหนึ่งประกบ หนีไปมาจนทั่วแผ่น นำไปใส่ใน Sample Holder เพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ต่อไป

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Nujol เองก็ดูดกลืนแสงอินฟราเรด และได้อินฟราเรดสเปกตรัมดังรูปที่ 2.4 ซึ่งดูดกลืนแสงอินฟราเรดมากที่สุดที่ $3,000-2,800\text{ cm}^{-1}$ และขนาดปานกลางที่ $1,460\text{ cm}^{-1}$ และ $1,375\text{ cm}^{-1}$ ดูดกลืนแสงน้อยที่ 720 cm^{-1}

สำหรับของ Fluorolube หรือ Perfluorokerosene ดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วง $1,320-600\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 2.5

ดังนั้นถ้าศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมโดยใช้ Fluorolube ในช่วง $4,000-1,330\text{ cm}^{-1}$ และใช้ Nujol ในช่วง $1,330-720\text{ cm}^{-1}$ จะเห็นว่าสารทั้งสองนี้จะไม่รบกวนสเปกตรัมที่ได้ เทคนิคนี้เรียกว่า "Split Mull Technique"

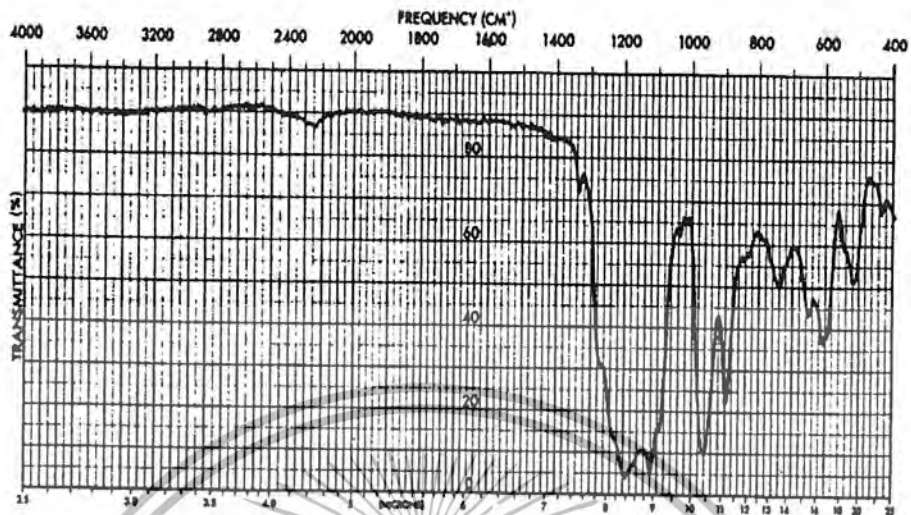


รูปที่ 2.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ Nujol

6. ใช้ KBr-Pellet Technique นับว่าเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากอีกเทคนิคหนึ่ง โดยใช้สารพวกอัลคาไลแฮไลด์ เช่น KBr ที่เป็นของแข็งผสมกับสารตัวอย่าง บดให้เข้ากันในโกรงอะเกต แล้วนำไปอัดจะได้สารเป็นแผ่นใส สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้เลย ข้อดีของเทคนิคนี้คือ

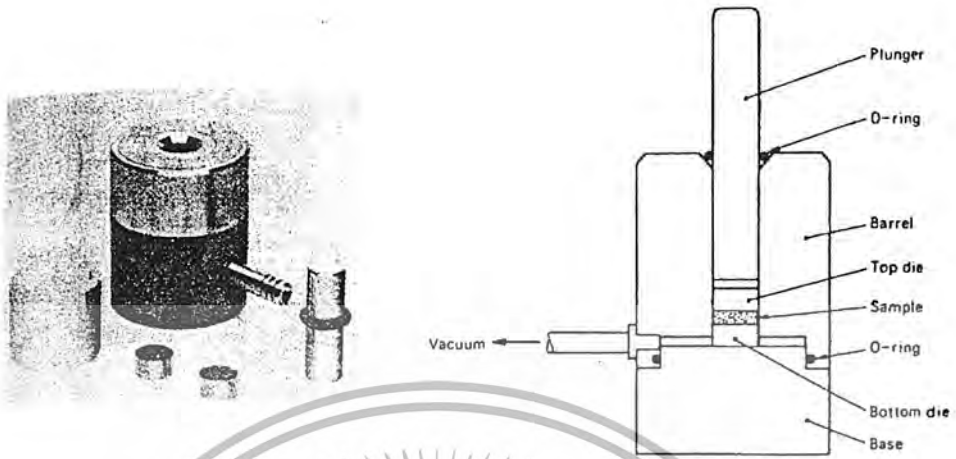
1. Background Absorption ของสารประกอบแฮไลด์มีน้อย และใช้ได้ทั่วไป
2. แผ่นใสที่อัดได้อาจจะเก็บไว้ใช้วิเคราะห์ใหม่ได้
3. สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างในระดับไมโครได้

สิ่งที่สำคัญของการใช้เทคนิคนี้คือ KBr ควรจะต้องใช้เกรดที่ดีที่สุด อย่างน้อยก็ควรเป็น AR เกรด และจะต้องแห้ง นั่นคือ ควรจะต้องอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ที่ใส่ P_2O_5 หรือซิลิกาเจลไว้ ก่อนใช้ควรจะต้องบดให้ละเอียดเสียก่อน



รูปที่ 2.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ Fluorolube

วิธีทำ KBr-Pellet ใช้สารตัวอย่างประมาณ 2.0 มก. ผสมกับ KBr 100-200 มก. ในโกร่งอะเกต แล้งบดให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ตามปกติการทำ KBr-Pellet ควรให้มีสารตัวอย่างเข้มข้นประมาณ 0.1-2 % แต่ก็อาจเปลี่ยนแปลงปริมาณได้ ขึ้นอยู่กับสารตัวอย่างนั้นดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ดีเพียงใด เมื่อบดดีแล้วนำไปใส่ในเครื่องอัดเรียกว่า Die ดังรูปที่ 2.6 หลังจากเปิดปั๊มดูดอากาศออกประมาณ 1 นาที จึงเริ่มอัดด้วยเครื่องอัด ซึ่งอาจเป็น Hydraulic Press อัดประมาณ 10 ตัน สำหรับขนาด 13 มม. Disc และใช้ความดันประมาณ 15 ตัน สำหรับ 16 มม. Disc ไม่ควรใช้ความดันสูงเกินไป เพราะอาจทำให้ Die เสียหายได้ ควรอัดตัวอย่างประมาณ 3-4 นาที หลังจากลดความดัน และปลดปั๊มออกจาก Die แล้วจึงนำตัวอย่างที่เป็น Pellet ใส่บางออกมาอย่างระมัดระวัง เพราะอาจแตก หรือหักได้ จากนั้นใส่ลงใน Disc Holder เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 2.6 เครื่องอัดชนิด Evacuatable KBr die และเครื่องอัดขนาด 15 ตัน

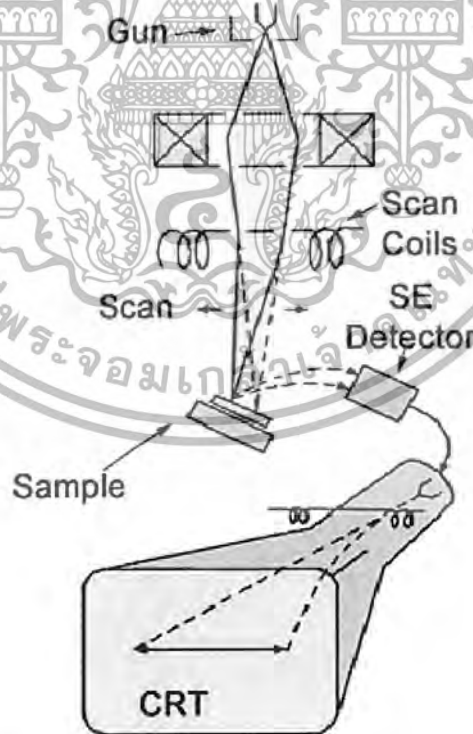
ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์สารตัวอย่างในช่วงความถี่ต่ำ อาจใช้ CsI หรือ CsBr ได้ แต่ CsI หรือ CsBr คุณความชื้นได้ดีมาก และราคาค่อนข้างแพง

ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ได้สร้างอุปกรณ์ที่เรียกว่า Attenuated Total Reflectance (ATR) ทำให้สามารถหาอินฟราเรดสเปกตรัมของสารที่มีลักษณะเป็นมันทำให้สะท้อนแสง หรือทึบแสงได้ เช่น ฝิวัดดู ผ้า กาว โฟม พลาสติก สี ยาสีฟัน และอื่นๆ เป็นต้น โดยนำสารตัวอย่างไปติดกับ ATR crystal ซึ่งเป็นผลึกของสารที่มีค่าดัชนีหักเหสูงมาก และแสงอินฟราเรดผ่านได้ เช่น เทลเลียมโบรไมด์ หรือเทลเลียมไอโอไดด์ หรือ AgCl เมื่อลำแสงอินฟราเรดตกกระทบผลึกนี้เป็นมุมที่อาจเลือกได้ เช่น 30° 45° และ 60° ลำแสงนั้นจะเกิดการสะท้อนอยู่ภายในหลายๆ ครั้งด้วยกันที่บริเวณติดกันของสารกับผลึก แสงอินฟราเรดบางส่วนจะถูกดูดกลืนบ้าง แต่แสงที่สะท้อนกลับออกมานั้นนำไปวัดด้วยดีเทคเตอร์ต่อไปก็จะได้อินฟราเรดสเปกตรัมของวัตถุเหล่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาตัวอย่างได้หลากหลายชนิด แต่ตัวอย่างที่จะนำไปศึกษาด้วย SEM จะต้องสามารถทนอยู่ในสภาวะสุญญากาศ และทนต่อลำแสงอิเล็กตรอนที่มากระทบโดยตรง การเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้ผลที่ดีและถูกต้อง การเตรียมตัวอย่างมีหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ซึ่งสามารถแบ่งประเภทตัวอย่างออกเป็น ตัวอย่างทางชีวภาพ (Biological Specimen) และอชีวภาพ (Non - Biological Specimen) โดยตัวอย่างจากสิ่งมีชีวิตจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อนกว่า อย่างไรก็ตามในการเตรียมตัวอย่างให้คำนึงถึงปัจจัยหลักอยู่ 3 ประการ คือ ตัวอย่างจะต้องคงสภาพเดิม พื้นผิวตัวอย่างจะต้องสะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อน และประการสุดท้ายจะต้องมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าหรือไม่มีประจุสถิตย์ (Electrostatic Charge) คุณภาพของภาพถ่าย SEM ไม่ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมตัวอย่างเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องมือ ความชำนาญของผู้ใช้เครื่อง ตลอดจนการล้างฟิล์มอัดขยายภาพ



รูปที่ 3.1 การทำงานของเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)