

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดโลหะทองแดงด้วยเส้นใยมะพร้าว

3 1021



T107770



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 107770  
วัน,เดือน,ปี..... 10 พ.ค. 2553

b..... 12210232  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Copper Removal Using Coconut Fiber



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 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** การกำจัดโลหะทองแดงด้วยเส้นใยมะพร้าว  
**นักศึกษา** นางสาวปภาณญาดา ปรุพห้สุข  
 นางสาวฤทัยรัตน์ แสงวทรัพย์  
**ภาควิชา** เคมี คณะวิทยาศาสตร์  
**สาขาวิชา** เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์  
**ปีการศึกษา** 2548  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
กรรมการ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์	
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	

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

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การกำจัดโลหะทองแดงด้วยเส้นใยมะพร้าว
นักศึกษา	นางสาวปภาณูดา ปรุพห้สุข นางสาวฤทัยรัตน์ แสงทรัพย์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขา	เคมีอุตสาหกรรม- เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเส้นใยมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ชนิดไม่ปรับสภาพและชนิดปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว(g) : CH<sub>2</sub>O(ml) : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml) เท่ากับ 4: 48: 160, 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 ความเข้มข้นของโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการศึกษาคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองแบบคอกัสนี้ จากการศึกษาพบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ปรับสภาพ ปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว(g) : CH<sub>2</sub>O(ml) : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml) เท่ากับ 4: 48: 160, 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงได้ใกล้เคียงกันโดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงเฉลี่ย 99.0%, 97.02%, 99.40% และ 99.00% ตามลำดับ การศึกษาผลของค่าพีเอชในการดูดซับโลหะทองแดง พบว่าค่าพีเอชไม่มีผลต่อการดูดซับโลหะทองแดงการทดลองชะเส้นใยมะพร้าวที่ดูดซับโลหะทองแดงไว้ด้วยน้ำกลั่นกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.10 และ 0.50 โมลาร์ พบว่ากรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ สามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้สูงกว่ากรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10, 0.01 โมลาร์ และน้ำกลั่น ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	Copper Removal Using Coconut Fiber
<b>Name</b>	Miss Parnyada Paroonsook Miss Rutairat Sawangsub
<b>Department</b>	Chemistry Faculty of Science
<b>Program Industrial</b>	Industrial Chemistry-Analytical Instrumentation
<b>Academic Year</b>	2005
<b>Special Project Advisor</b>	Dr. Wiboon Praditweangkum

### Abstract

This specific project is a study to compare the effectiveness of copper removal in synthetic wastewater by ion exchange resin prepared from coconut fiber which was untreated and treated with formaldehyde 40% (V/V) and sulfuric acid at concentration of 0.2 molar using the ratio of coconut fiber(g): CH<sub>2</sub>O(ml): H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(ml) equals to 4: 48: 160, 6: 24: 80 and 10: 24: 80. The concentration of copper in synthetic wastewater that has been studied is 5 milligram per liter by using column experiments; Ion exchange resin from coconut fiber which was untreated and treated with formaldehyde 40% (V/V) and sulfuric acid at concentration of 0.2 molar using the ratio of coconut fiber(g): CH<sub>2</sub>O(ml): H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(ml) equals to 4: 48: 160, 6: 24: 80 and 10: 24: 80 have nearly efficiency in copper absorption and by having the average efficiency in copper absorption of 99.0%, 97.02%, 99.40% and 99.00% respectively. For the study of copper absorption by cotton found out that there is no result in an absorption. The elution absorbed coconut fiber by distilled water, hydrochloric acid at concentrations of 0.01, 0.10 and 0.50 molar found out that hydrochloric acid at concentration of 0.50 molar can elute out the copper from coconut fiber higher than hydrochloric acid at concentrations of 0.10, 0.01 molar and distilled water respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของโครงการเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความกรุณาจากทุก ๆ ท่าน ขอบขอบพระคุณ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้คำแนะนำและข้อคิดมาเป็นแนวทางในการปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งให้คำปรึกษามาโดยตลอดจนกระทั่งจัดทำปฏิญานิพนธ์จนสำเร็จ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านอย่างเต็มที่ และกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัวที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมถึงขอใจเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

คณะผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นางสาวปานญาดา ปรุพหฺ์สุข

นางสาวกทียรัตน์ แสงทรัพย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โลหะหนัก	3
2.2 กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	4
2.3 ทฤษฎีการดูดซับ	4
2.4 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน	7
2.5 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน	13
2.6 สารเซลล์ูโลสแลกเปลี่ยนไอออน	14
2.7 องค์ประกอบในเซลล์พีซ	15
2.8 มะพร้าว	19
2.9 องค์ประกอบของเส้นใยมะพร้าว	20
2.10 เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี	21
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 การเตรียมเส้นใยมะพร้าว	27
3.3 การเตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์(V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การเตรียมสารละลายสต็อกทองแดงที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร	27
3.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	27
3.6 การเตรียมสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm	28
3.7 วิธีดำเนินการทดลอง	28
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	
4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น	32
4.2 การศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับโลหะทองแดง	34
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพและการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริก 0.01 โมลาร์ และ 0.10 โมลาร์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานต่างกัน	34
4.4 การศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน	39
4.5 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพ	40
4.6 การศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพแล้วด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.10 โมลาร์	41
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	44
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	45
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	52
ภาคผนวก ง	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่างๆ	8
2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว	21
4.1 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ	32
4.2 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวโดยใช้น้ำกลั่น	33
4.3 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และ % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ	35
4.4 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และ % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ	36
4.5 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และ % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.1 M ตามลำดับ	37
4.6 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M 0.10 M และ 0.50 M ตามลำดับ	39
4.7 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพ ด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วนต่างๆ	40
4.8 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพแล้ว ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 M	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะโครงสร้างของเซตดูโลส	14
2.2 ลักษณะโครงสร้างของเซตดูโลส	16
2.3 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซตดูโลส	17
2.4 โครงสร้างของไซแลน AC Acetyl Group	18
2.5 หน่วยย่อยในโครงสร้างของลินิน	19
2.6 แสดงส่วนประกอบผลมะพร้าว	20
2.7 แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยมะพร้าว	20
2.8 แสดงการเกิดแทรกซึ้นจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรกทั้ง 3 แบบ	22
2.9 แสดงการใช้เทคนิค Flame Atomization Technique	22
2.10 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	23
4.1 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ	33
4.2 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น	34
4.3 แสดง % การดูดซับโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ	35
4.4 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ	35
4.5 แสดง % การดูดซับโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ	37
4.6 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ	37
4.7 แสดง % การดูดซับโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ	38
4.8 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.1 M ตามลำดับ	38
4.9 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วย กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M, 0.1 M และ 0.5 M	40
4.10 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพด้วยอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว (g): CH <sub>2</sub> O (ml): H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml) เท่ากับ 4: 48: 160, 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 ตามลำดับ	41
4.11 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพแล้ว ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 M	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ปัญหาด้านน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เป็นปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้น เนื่องจากประเทศไทย มีการประกอบอาชีพที่เกี่ยวกับเกษตรกรรมอยู่เป็นส่วนใหญ่ จึงมีการนำน้ำจากแหล่งธรรมชาติมาใช้ในการเพาะปลูก การประมง และการปศุสัตว์ นอกจากนี้ประชากรในเขตภูมิภาคยังใช้ในการบริโภค หากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดจะส่งผลกระทบต่อประชากรจำนวนมาก น้ำเสียมักจะมีสารประกอบอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะหนัก เช่น พวกเกลือของปรอท ตะกั่ว โครเมียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น เกลือของโลหะหนักส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นเมื่อถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำนั้นจะสะสมของเสียนั้นไว้ และถ่ายทอดสู่มนุษย์ได้ หากได้รับการสะสมในระดับที่เกินมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดโรคร้ายต่อทั้งมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตในน้ำได้

โรงงานอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ โรงงานเคลือบชุบโลหะ โรงงานแอสแตนเลส โรงงานฟอกย้อม โรงงานปุ๋ยเคมี และเหมืองแร่ เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อควบคุมมิให้ปริมาณมากเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้หากทะเลเลยอาจมีอันตรายถึงชีวิต เช่น สารประกอบโครเมียมที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีความเป็นพิษสูงมาก เมื่อเข้าสู่ร่างกายในปริมาณหนึ่ง อาจก่อให้เกิดอาการคลื่นเหียน ท้องร่วง อาเจียน และอาจทำให้เสียชีวิตได้ ถ้ามีปริมาณสูง นอกจากนี้ยังสามารถสะสมแล้วก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้

เส้นใยจากกาบมะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร ด้วยเส้นใยมะพร้าวที่มีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่ยืดหยุ่น แข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และไม่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติจึงสามารถทำลายได้ง่าย ดังนั้นเส้นใยมะพร้าวจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในสินค้าประเภทที่นอนเพื่อสุขภาพใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร เช่นการใช้เป็นฐานรองเพื่อการยึดเกาะของดินกล้า

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาวิธีการนำเอาเส้นใยมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ในการกำจัดโลหะทองแดง โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพกับเส้นใยมะพร้าวที่ทำการปรับสภาพในสภาวะต่าง ๆ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. โลหะหนักที่ศึกษาคือ ทองแดง
2. ศึกษาหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพเปรียบเทียบกับเส้นใยมะพร้าวที่ทำการปรับสภาพในสภาวะต่าง ๆ
3. วิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดง โดยใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตเมตริก

## 1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลจากแหล่งที่เกี่ยวข้อง
2. วางแผนการทดลองโดยจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี สารตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้
3. ดำเนินการทดลอง โดยศึกษาหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพเปรียบเทียบกับเส้นใยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยสภาวะต่าง ๆ และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดงโดยใช้เทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตเมตริก

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้นำเส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์
2. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยมะพร้าวเพื่อกำจัดโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท ทองแดง สังกะสี เป็นต้น และมีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาวสะท้อนแสงได้ดี และเหนียวสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ มีเลขออกซิเดชัน (Oxidation number) ได้หลายค่า จึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food chain) เมื่อโลหะเหล่านี้แพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้ และมีผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

โลหะหนักถูกใช้ประโยชน์อย่างมากในงานอุตสาหกรรมและยังเป็นต้นกำเนิดในการผลิตโลหะผสมอีกหลายชนิดด้วยกัน โลหะหนักแต่ละชนิดจะถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างชนิดกัน ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมนั้นๆ โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งโลหะต่างๆ ออกตามคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. โลหะที่ให้คุณสมบัติประโยชน์แก่สิ่งมีชีวิต เช่น เหล็ก และทองแดง เป็นต้น
2. โลหะที่ไม่ก่อประโยชน์และโทษแก่สิ่งมีชีวิต เช่น อะลูมิเนียม
3. โลหะที่สะสมในสิ่งมีชีวิตและก่อให้เกิดโทษ เช่น ปรอท ตะกั่ว และสารหนู เป็นต้น
4. โลหะประเภทที่ก่อประโยชน์ถ้าสิ่งมีชีวิตได้รับเพียงเล็กน้อยแต่ให้โทษถ้าได้รับปริมาณ

ที่สูง

#### ทองแดง (Copper)

ทองแดงเป็นโลหะที่อยู่ในหมู่ IB ในตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 น้ำหนักอะตอม 63.54 จุดเดือด 2,595 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 8.96 มีเลขออกซิเดชัน +1 และ +2 มีคุณสมบัติอ่อน ดัดง่าย ทนต่อการกัดกร่อน นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้ประโยชน์

ทองแดงจะถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายชนิด ได้แก่ การนำไปทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า ใช้ในงานก่อสร้างอาคาร อุปกรณ์และเครื่องจักร และใช้ในส่วนประกอบของยาปราบศัตรูพืช ในงานทำเม็ดสีในอุตสาหกรรมเส้นใยและเซรามิก

## ความเป็นพิษ

ทำให้เกิดโรค Wilson Disease ซึ่งเป็นความผิดปกติเนื่องจากมีระดับทองแดงสะสมอยู่ในร่างกายมาก ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุร่างกายได้รับทองแดงเข้าไปมากจะเกิดอาการเป็นพิษเฉียบพลันคือ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปัสสาวะเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ และอาจทำให้เสียชีวิต ถ้ามีความเข้มข้นของทองแดงในดินสูง จะเป็นพิษต่อพืช ไปทำลายปลายยอดของต้นไม้ในห้างกงามต่อไป [1]

## 2.2 กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือให้เหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำจึงมีหลายวิธี โดยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมี 4 วิธีคือ

1. กระบวนการทางเคมี (chemical process)
  - การทำให้เกิดตะกอน (precipitation)
  - การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation)
  - การเกิดรีดักชันทางเคมี (chemical reduction)
  - การสะเทิน (neutralization)
2. กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Process)
3. กระบวนการทางกายภาพ (Physical process)
4. กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physical-chemical process)
  - การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption)
  - การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) [2]

## 2.3 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดที่พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและก๊าซ ของแข็งกับก๊าซ ของแข็งกับของเหลว ของเหลวกับของเหลว สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับ อาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจงซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## พฤติกรรมการดูดซับของสาร

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) และการดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption)

### 1. การดูดซับทางกายภาพ

เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือพันธะไฮโดรเจนซึ่งมีทิศทาง และยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดขึ้นแบบหลายชั้น (Multilayer)

### 2. การดูดซับทางเคมี

เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรง มีพันธะกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องและมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

### 3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน

เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

### 4. การดูดซับแบบเจาะจง

เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันนั้นอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมดูดซับชนิดนี้จะมีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีในการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการดูดซับกายภาพ การดูดซับเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น [3]

### แรงดึงดูดที่ใช้ในการดูดซับ

แรงดึงดูดที่ใช้ในการดูดซับโมเลกุลของสารที่สนใจ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

#### 1. แรงดึงดูดทางกายภาพ (Physical Force) ประกอบด้วย

##### 1. แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waal's Force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อน ๆ ได้ต่อเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณที่อยู่ภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน ทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้นและสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาะจับกันด้วยแรงอ่อน ๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ (desorption) จะเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

1.1 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (orientation effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

1.2 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากการกระจาย (dispersion effect) ซึ่งเห็นได้จากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็น ไดโพล โมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามา ก็จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ซึ่งแรงนี้มักจะเป็นแรงอ่อนๆ เช่น แรงดึงดูดระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์

1.3 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับ โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องจากการเหนี่ยวนำ (induction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

## 2. แรงดึงดูดทางเคมี (Chemical Force)

เกิดจากการยึดเหนี่ยวกันระหว่าง ไอออนของสารกับตัวดูดซับแล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนใหม่ขึ้น เช่น การดูดซับระหว่างหมู่โลหะทรานซิชันกับหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งพันธะเคมีหรือแรงเคมีที่เกิดขึ้นนี้จากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือเกิดจากการให้อิเล็กตรอนหรือการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน จึงมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนของสารกับหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับซึ่งแรงนี้จะมีค่ามากกว่าแรงทางกายภาพและจากแรงทางเคมีนี้จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถย้อนกลับกันได้ [4]

### ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

#### 1. สมบัติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุนของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับสาร พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากตัวดูดซับมีความเป็นรูพรุนมากทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อ โมเลกุลของตัวดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย

#### 2. สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ

2.1. ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายได้สูงจะถูกดูดซับได้น้อย ฉะนั้นก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อน

2.2 น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักใน โมเลกุลและขนาดของ โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับในการบำบัดน้ำเสียระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงสุดซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับด้วย

### 4. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับเนื่องจากไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

### 5. อุณหภูมิ (Temperature)

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับลดลง [5]

## 2.4 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

### หน้าที่และกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

หน้าที่และกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน มี 2 ประการ ซึ่งเกิดต่อเนื่องกันคือ

1. การกำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  เป็นต้น

นอกจากนี้ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะพิษต่างๆ ออกจากน้ำได้ด้วยแต่ทั้งนี้ต้องใช้ เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะพิษที่ใช้เรซินกำจัดออก ได้แก่ อาเซนิก แอมเมียม แคดเมียม โคบอลต์ ทองแดง ทอง ตะกั่ว เซเลเนียม เงิน แวนาเดียม และสังกะสี

2. ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมาก ๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดออกจากสารละลายจะหลุดออกมาที่สารละลายรีเจนเนอเรนต์ (Regenerant) ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชั่น (Regeneration) เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่าปริมาณสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออน ความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงกว่ามากซึ่งเป็นการทำให้ไอออนซึ่งเดิมเจือจางมากมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆ เท่า [6]

### โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดสมรรถภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินจะมีโครงร่างคล้ายตาข่ายสามมิติ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ โครงร่างที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนตาข่าย เรียกว่า Functional group หมู่ไอออนนี้ส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับโครงร่างและไม่เคลื่อนที่ อีกส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งเคลื่อนที่ได้และเป็นส่วนที่ไหลแลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในน้ำ โครงร่างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างไรที่ปรากฏและคงรูปอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและไม่แตกหักโดยง่าย โครงร่างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกัน ซึ่งต่อกันเป็นสายยาวและมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งใสของเรซินขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการประสาน (Degree of crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ถ้าปริมาณของตัวประสานมาก โครงร่างของเรซินจะแข็งและทึบ แต่ถ้าปริมาณของตัวประสานน้อย โครงร่างของเรซินจะอ่อน ความโปร่งหรือความพรุนกับโครงร่างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Exchange capacity)

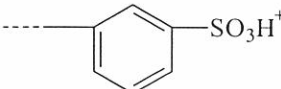

หมู่ ไอออน (Functional group) ของเรซิน เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่าง ๆ ของเรซิน เช่นความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน ถ้าส่วนโครงร่าง Matrix มีประจุลบประจำตัว Functional group จะมีประจุบวก เรียกว่าเป็น Cation exchanger คือ เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุบวก ถ้าส่วนโครงร่าง Matrix มีประจุบวกประจำตัว Functional group จะมีประจุลบ เรียกว่าเป็น Anion exchanger คือ เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ

เรซินสังเคราะห์ โดยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นสารพวก Polystyrene ที่รวมตัวอยู่กับ Divinylbenzene โดย Functional group ของ Cation exchanger เป็นพวก Sulphonic, Carboxylic หรือ Phosphonic ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion exchanger) จะเป็นพวกที่มี Functional group เป็นพวก Quaternary ammonium, Primary amine หรือ Secondary amine

#### การแบ่งเรซินตามลักษณะการใช้งานตาม Functional group

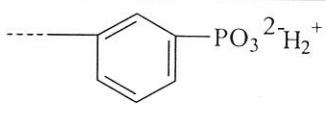
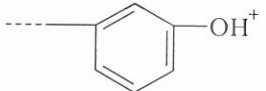
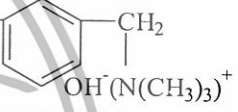
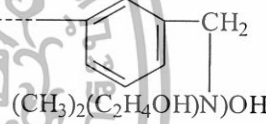
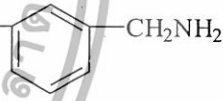
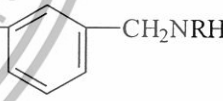
คุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินจะขึ้นอยู่กับหมู่ไอออนของเรซิน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น Acidity และ Basicity นอกจากนี้ยังแบ่งย่อยได้เป็น เรซินแบบกรดแก่ (Strong acid ionexchanger) เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid ion exchanger) เรซินแบบด่างแก่ (Strong basic ionexchanger) เรซินแบบด่างอ่อน (Weak basic ion exchanger) หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่างๆ

Classification	Active Groups	Dissociation Constant pKa	Typical Configuration
Caion Exchange Resin			
Strong acid	Sulfonic	1	
	Methylene Sulfonic	1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่างๆ (ต่อ)

Classification	Active Groups	Dissociation Constant pKa	Typical Configuration
Weak acid	Carboxylic	4-6	$\text{---CH}_2\text{CH}(\text{COOH}^+)\text{CH}_2\text{---}$
	Phosphonic	2-3	
	Phenolic hydroxyl	9-10	
Anion Exchange Resin			
Strong base	Quarternary ammonium	13	
	(type I)		
	(type II)		
Weak base	Primary amine	6-9	
	Secondary amine	7-9	
	Tertiary amine (aromatic matrix) (aliphatic matrix)	9-11	$\text{---CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2)\text{---}$

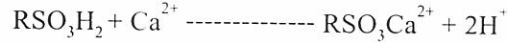
### 1. เรซินแบบกรดแก่ (Strong acid ion exchanger)

เรซินแบบกรดแก่คือ พวกที่มี Functional group เป็น นพวกรดแก่ เช่น Sulphonic acid หน้าที่ของเรซินแบบกรดแก่จะใช้ไอออนบวกของตัวเอง ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) แลกกับไอออนที่ต้องการจะกำจัดออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  เป็นต้น  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{Na}^+$  เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้หมู่ไอออนของเรซิน โดยเรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิค ( $-\text{SO}_3$ ) เป็น หมู่ไอออนซึ่งจับติดอยู่กับโครงไฮโดรคาร์บอนหมู่ซัลโฟนิคนี้จะอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปของ  $H^+$  หรือ  $Na^+$  ก็ได้ ( $-SO_3H^+$ ,  $-SO_3Na$ )  $-SO_3$  จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแต่มี  $H^+$  หรือ  $Na^+$  ที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ที่มี  $H^+$  หรือ  $Na^+$  เป็นดังนี้ คือ



เรซินแบบกรดแก่สามารถที่จะจับไอออนบวกของ Cation ได้ทั้งหมด เมื่อเรซินหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชั่นเรซินที่อยู่ในรูปของ  $Na^+$  ต้องรีเจนเนอเรตด้วย  $NaCl$



ส่วนเรซินที่อยู่ในรูปของ  $H^+$  ต้องรีเจนเนอเรตด้วยกรดแก่ ( $H^+$ )



เรซินแบบกรดแก่มีข้อดี คือ

1. ใช้ได้ดีกับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. สามารถแยก  $Na^+$  จากเกลือแคงได้
3. การรั่วของ ไอออนบวกที่ต้องการกำจัดเกิดขึ้นน้อย
4. สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว
5. มีความคงทน ใช้งานได้นาน โดยมีการสูญเสียอำนาจเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
6. การเปลี่ยนรูปของ  $Na^+$  ในเรซินเป็น  $H^+$  ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นเพียง 7 %
7. เหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรตต่ำประมาณ 25-45 % ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรต
2. ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย ทำให้เรซินเกิดการบวมและมีความชื้นสูงขึ้น โดยเฉพาะเรซินที่มีระดับของการประสาน โครงร่างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid ion exchanger)

เรซินแบบกรดอ่อนคือพวกที่มี Functional group เป็นพวกกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอกซิลิก กรดอะคริลิก เรซินชนิดนี้แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นกรด ทำให้ไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนให้กับเกลือที่ได้จากกรดแก่ เช่น  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4$  การใช้งานของเรซินแบบกรดอ่อน มีข้อจำกัด คือ เมื่อพื้นกำลังเรซินด้วยกรดเกลือ ( $\text{HCl}$ ) เรซินชนิดนี้สามารถใช้จับไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์ 1 ขึ้นไป ที่จับคู่ (Associate) กับพวกต่างเท่านั้นดังนั้นจำนวน Cation ที่ถูกขจัดออก ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) จะเท่ากับความสามารถลบจากค่าความเป็นด่างสำหรับกรณีที่มีความกระด้างทั้งหมดมากกว่าความเป็นด่างทั้งหมด ซึ่งจัดว่าเป็นสภาพน้ำที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเรซินชนิดนี้

ในกรณีที่อัตราส่วนของ Hardness: Alkalinity มากกว่า 1 แสดงว่ามี Permanent Hardness ทำให้เรซินชนิดนี้เริ่มจะไม่ค่อยเหมาะกับการขจัดไอออนเพราะความสามารถในการจับประจุลดลง แต่ Cation leakage เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงไม่ค่อยเหมาะเมื่อเทียบกับเรซินแบบกรดแก่

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อดี คือ

1. ประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันสูงถึง 90% โดยเฉพาะถ้าเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูป  $\text{H}^+$  เพราะเรซินมีความชอบ (Affinity)  $\text{H}^+$  สูง
2. ชีตความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ประมาณ 2 เท่า
3. เรซินทนต่อสารออกซิเดนท์ เช่น คลอรีน ได้ดี
4. เรซินในรูป  $\text{H}^+$  สามารถกำจัดความเป็นด่างออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องเติมกรด
5. เรซินสามารถใช้รีเจนเนอเรชันจากการทำรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดแก่ได้
6. มีการรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วหนีได้มาก

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อเสีย คือ

1. เรซินใช้ได้ภายใต้สภาวะจำกัด เช่น ใช้ได้กับน้ำที่มีทีเอชสูง
2. เรซินไม่มีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting)
3. การเปลี่ยนรูป  $\text{H}^+$  ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้าและขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำดิบ
5. เรซินเกิดปฏิกิริยาไฮโดไลซิสกับน้ำได้ง่าย ทำให้เกิดการรั่วของไอออนที่ต้องการกำจัดออก

## 3. เรซินแบบด่างแก่ (Strong basic ion exchanger)

เรซินแบบด่างแก่มีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Quaternary Amine และไอออนอิสระมักเป็น  $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{OH}^-$  มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนด่างแก่ หน้าทีของเรซินแบบด่างแก่ คือใช้ไอออนลบของเรซินแลกเปลี่ยนกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออกเช่น  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , และ  $\text{SiO}_2$

เรซินแบบด่างแก่แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Type I มีความเป็นด่างและความคงทนสูง มีความสามารถในการจับ Silica ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Type II มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนไอออนและรีเจนเนอเรชันเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับ ได้ดังนี้ คือ



สารรีเจนเนอเรนต์ อาจใช้โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

เรซินแบบด่างแก่ มีข้อดี คือ

1. ใช้ได้ดีกับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. สามารถแยก  $\text{Na}^+$  จากเกลือแกง (NaCl) ได้
3. สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรตต่ำเพียง 18-33 % ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรต

2. มีความคงทนต่ำ ทำให้อายุการใช้งานสั้น
  3. ในกรณีที่น้ำเสียนี กรดฮิวมิคจากการเน่าเปื่อยของพืช สามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำรีเจนเนอเรชันได้
  4. เรซินเปลี่ยนเป็นด่างอ่อนได้ง่าย ทำให้สูญเสียขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน
4. เรซินแบบด่างอ่อน (Weak basic ion exchanger)

เรซินแบบด่างอ่อนมีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Primary, Secondary หรือ Tertiary Amino และ ไอออนอิสระมักเป็น  $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{OH}^-$  หรือ ไม่มีก็ได้ การกำจัดไอออนลบของเรซินนี้จะแตกต่างจากเรซินอีก 3 ประเภทเนื่องจากไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินชนิดนี้ กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซินเนื่องจากเรซินแบบด่างอ่อนไม่จำเป็นต้องมีไอออนอิสระก็ได้ ดังนั้นกลไกการทำงานของเรซินจะเป็นลักษณะ Absorption ไม่ใช่ลักษณะการแลกเปลี่ยนประจุ โดยทั่วไปเรซินแบบด่างอ่อนมักใช้ในการกำจัด  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$

ข้อดีของเรซินแบบด่างอ่อน คือ

1. มีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงเกือบ 100 %
2. ทนต่อกรดฮิวมิค มีประสิทธิภาพการกำจัดไอออนสูง
3. สารรีเจนเนอเรนต์ อาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของเรซินแบบต่างอ่อน คือ

1. มีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้า
2. ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชต่ำเท่านั้น

ปฏิกิริยาในการจับโมเลกุลของกรดแก่เป็นดังนี้



เมื่อ คือ  $\text{X}^-$  ไอออนอิสระประจุลบ

ปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นดังนี้



เมื่อ คือ  $\text{X}^-$  ไอออนอิสระประจุลบ

ลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน (Selectivity)

เรซินทั้งแบบกรดและด่าง มีความชอบไม่เท่ากันในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินพบว่า เรซินที่จะชอบทำปฏิกิริยากับไอออนบางชนิดมากกว่าชนิดอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของไอออนนั้น ๆ ในสารละลาย นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนไอออนยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเรซิน เช่น ขนาดของเรซิน (Degree of cross-linking) ชนิดของ Functional group และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

ความสัมพันธ์ระหว่างไอออนกับการเลือกจับไอออนของเรซิน

1. เรซินสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีวาเลนซ์สูง ได้ดีกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออน
2. สำหรับไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากัน ไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมสูงกว่าสามารถ แลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่าไอออนที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำ เช่น  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Be}^{2+}$  หรือ  $\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$
3. เรซินมี Degree of crosslinking สูงความสามารถในการเลือกจับไอออนจะมีมากกว่าเรซินที่มี Degree of crosslinking ต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of crosslinking กับการเลือกจับไอออน

## 2.5 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแบ่งการทำงานได้ 3 วิธี คือ

1. การทำงานแบบทีละเท (Batch Operation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่ง่ายที่สุด น้ำเสียจะถูกกวนผสมกับเรซินในถังปฏิกิริยา จากนั้นการทำงานแยกเรซินออกโดยการกรองหรือตกตะกอน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constant) ของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

### 2. การทำงานแบบคอลัมน์ (Column Operation)

วิธีการนี้จะใช้ในการศึกษาชั้นห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และสภาวะที่เหมาะสม

### 3. การทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Process)

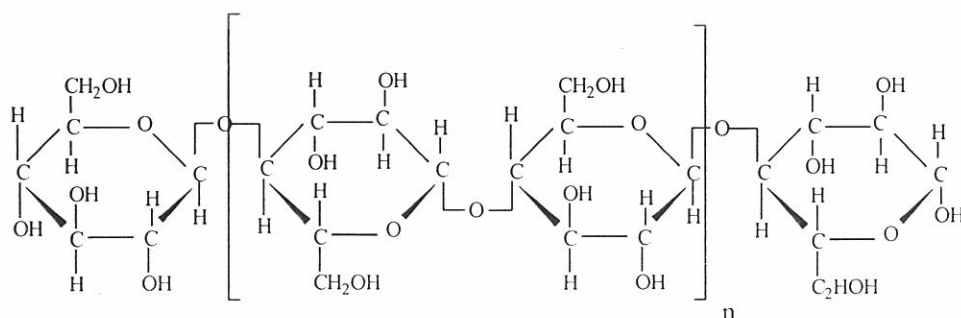
เป็นการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุในถัง และปล่อยน้ำทิ้งไหลผ่านชั้นเรซินอย่างต่อเนื่องทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดเวลา เมื่อใช้งานไปนานๆ เรซินจะหมดประสิทธิภาพ (Exhausted Resin) ต้องทำการฟื้นฟูประสิทธิภาพโดยใช้สารละลายกรด หรือด่างขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินที่ใช้

## 2.6 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน การสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย ไฮดรอกซีเซลลูโลส และหมู่คาร์บอกซิล 15 % มีลักษณะเป็นผง ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็นไฮโดรฟิลิก แต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็นไฮโดรโฟบิก เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์ที่ยึดเกาะกันของโครงร่างตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ไอออนอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงร่างตาข่ายซึ่งมีระยะประมาณ 50 อังสตรอม

ดังนั้นไอออนที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถผ่านเรซินแบบสังเคราะห์ได้จะสามารถผ่านสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส พบว่าโมเลกุลของเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ การจับยึดตำแหน่งที่แน่นอนทำได้ยาก แต่จากการศึกษาทางเคมีของเซลลูโลสพบว่าคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 และ 6 เป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยามากที่สุด สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีขนาดประมาณ 15-20 ไมโครเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเซลลูโลส และองค์ประกอบอื่นๆ แต่จะไม่มีผลต่อสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน การปรับปรุงลักษณะของโครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชันในเซลลูโลสสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนให้สูงขึ้น

การเก็บสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำโดยการแช่ในสารละลาย  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  ที่มีความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และแช่ในสารละลาย  $\text{NaOH}$  ที่มีความเข้มข้น 1 นอร์มัล ซึ่งจะสามารถเก็บไว้ได้นานหลายเดือนควร หลีกเลี่ยงไม่ให้มีการสัมผัสกับสารละลายที่มีความเป็นกรดสูง (พีเอชต่ำกว่า 4)

ในการทำรีเจนเนอเรชันจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล หรือบัฟเฟอร์กรดหรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ในช่วง 0.25 – 1 meq/g dry-weight

ในการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ปฏิกิริยามักประกอบด้วย การเปลี่ยน Alkalicellulose ด้วยสารประกอบคลอรีน ข้อเสียของปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดการละลายและการแพร่กระจายของวัสดุ ถึงแม้ว่าจะมีการทำให้ตกตะกอนอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะนุ่มคล้ายวุ้น (Gel like Product) ซึ่งจะมีความต้านทานการไหลของสารละลายสูง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการลดการพองน้ำของเรซิน สามารถทำได้โดยการ Crosslinking ของในสายของเซลลูโลส ด้วย di-(2-ethylamine) Sulfate, 1,4-butanedisulfate, 1,3 dichloro-2- propanol, divinyl sulfone และ formaldehyde ก่อนการเติมหมู่ไอออน dichoroacetic acid เป็น Crosslinking agent ที่เป็นตัวบอก exchange group

Serva – Cellulose ion exchanger เป็นสารเซลลูโลสชนิดแรกที่ผลิตขึ้นในเชิงอุตสาหกรรมและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง [7]

## 2.7 องค์ประกอบในเซลล์พืช

องค์ประกอบสำคัญส่วนใหญ่ในเซลล์พืชแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. ลิกนิน
2. ไฮโลเซลลูโลส

ไฮโลเซลลูโลส สามารถแบ่งย่อยได้เป็น

- เซลลูโลส
- เฮมิเซลลูโลส

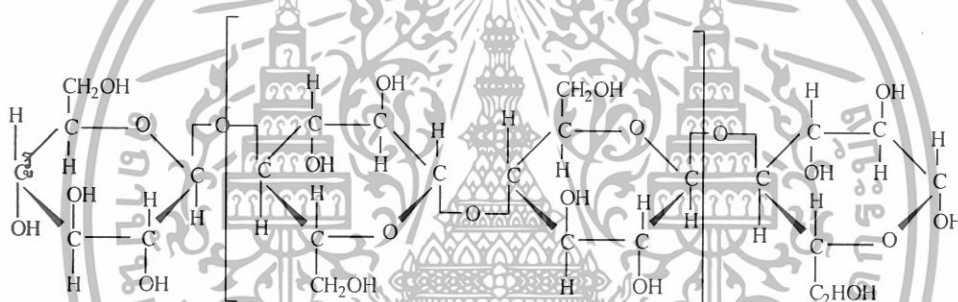
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นโพลีแซคคาไรด์ และเป็นสารที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ เพราะเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์ของพืช เช่น ในเนื้อไม้จะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 50 % นอกจากนั้นยังเกิดในรูปของเส้นใย เช่น ฝ้าย จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์

คุณสมบัติของเซลลูโลส คือไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หรือในสารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ดีในกรด หรือด่างแก่ จึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดและในด่างได้เป็น 3 ชนิด

1. แอลฟา-เซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
2. เบต้า-เซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
3. แกมมา-เซลลูโลส เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5% และสามารถละลายได้ดีในกรดเจือจาง

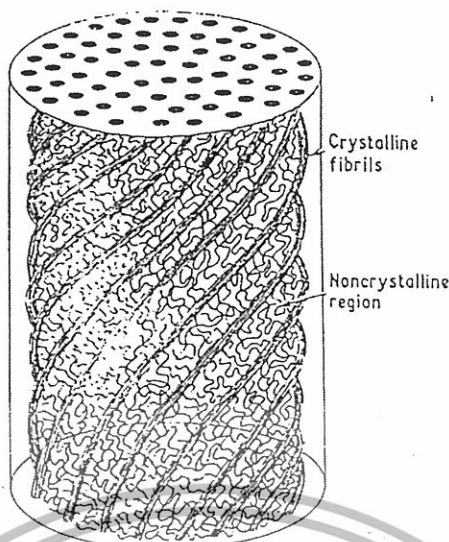


รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส

โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสคือ poly( $\beta$ -1-4-D-anhydroglucopyranose) แต่ละหน่วยของเซลลูโลสเรียกว่า แอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose,  $C_6H_{10}O_5$ ) เพราะเกิดการขจัดน้ำออกจากกลูโคส เซลลูโลสในธรรมชาติมีน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่างกัน เนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ถึง 3 หมู่จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมากประกอบกับการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันในโมเลกุลเซลลูโลสจึงมีองศาความเป็นผลึกสูง (Degree of crystallinity) คือมีค่าประมาณร้อยละ 60-80 โดยมีลักษณะการจัดเรียงตัวดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



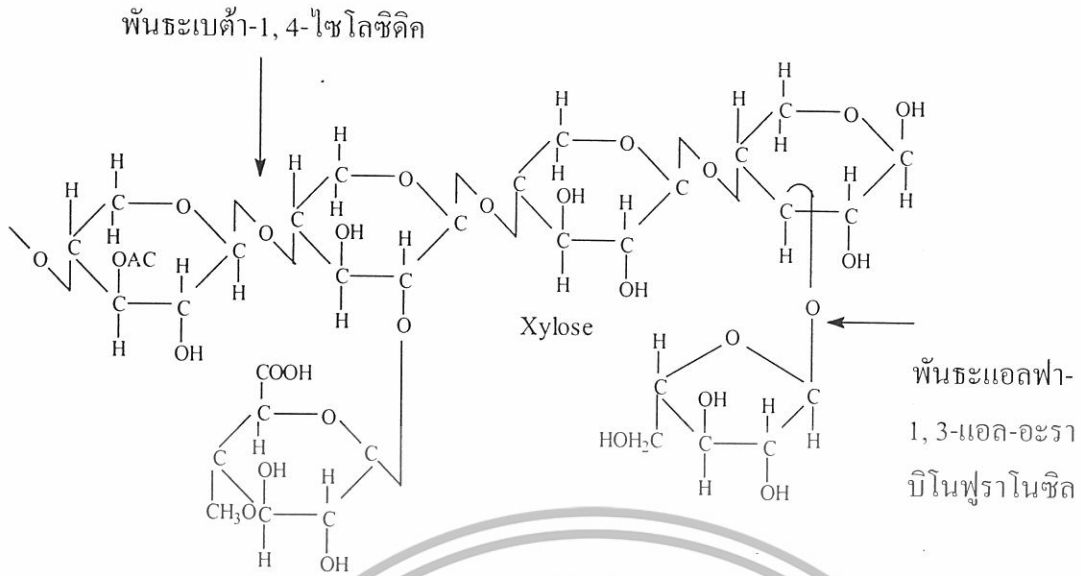
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลส [8]

### 2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (Pentose) ที่มีลักษณะเป็น Heterogenous โดยประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์หลายชนิดมารวมกัน ลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส จะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30-50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือ Xylan นอกจากนี้ก็ยังมี Glucan, Mannan, Galactan เฮมิเซลลูโลสเมื่อถูกย่อยสลายจะได้น้ำตาลเพนโตสและ เฮกโซส ได้แก่ ไซโลส แมนโนส กาแลคโตส และอะราบีโนส

สำหรับ Xylan ที่เป็นองค์ประกอบหลักของเฮมิเซลลูโลส เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลดีไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะเบตา 1, 4 ไซโลซิดิก (1, 4 Xylosidic linkage) อาจเป็นเส้นตรงเฉพาะไซโลสอย่างเดียว หรือมีกิ่งก้านสาขาที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่น ๆ ปนอยู่ เช่น (L-arabinofuranose) เชื่อมต่อกับ ดีไซโลสที่มีตำแหน่ง 0-3 และ ดี-กลูคูโรนิกแอซิด (0-3 -Dglucuronicacid) หรือ 4-0 และ เมทิล-กลูคูโรนิกแอซิด (4-0-methyl - glucuronic acid) ซึ่งต่อกับดีไซโลสที่ตำแหน่ง 0-2 ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เฮมิเซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในด่างและถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส



4-ออริโท-เมทิล-ดี-กลูคูโรนิก แอซิด

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไซเลน AC Acetyl-Group

3. ลิกนิน (Lignin)

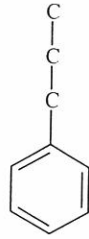
ลิกนินจัดอยู่ในพวก Heterogenous organic polymer จะอยู่ภายในโครงสร้างของพืช โดยอยู่รอบ ๆ เซลลูโลส และป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย

ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) ที่ประกอบด้วยหมู่ Methyl group (-OCH<sub>3</sub>), หมู่ Hydroxyl group (-OH) และส่วนที่เป็น Phenolic โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินจะไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาวซึ่งมีอยู่หลายแบบซึ่งประกอบด้วยหน่วยเหล่านี้ คือ

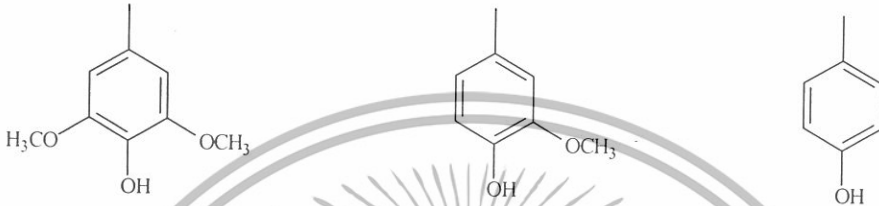
- ฟีนิลโพรเพน (Phenyl Propane)
- กัวไออะซิล ยูนิค (Guaiacyl Unit)
- ไซริงกิล ยูนิค (Syringyl Unit)
- พารา-ไฮดรอกซีฟีนิล ยูนิค (Para-Hydroxyphenyl Unit)

ลักษณะหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน แสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบฟีนิล โพรเพน (Phenyl propane type)



พารา-ไฮดรอกซี ฟีนิล ยูนิท

ไซรินกิล ยูนิท

กัวอิจะซีล ยูนิท

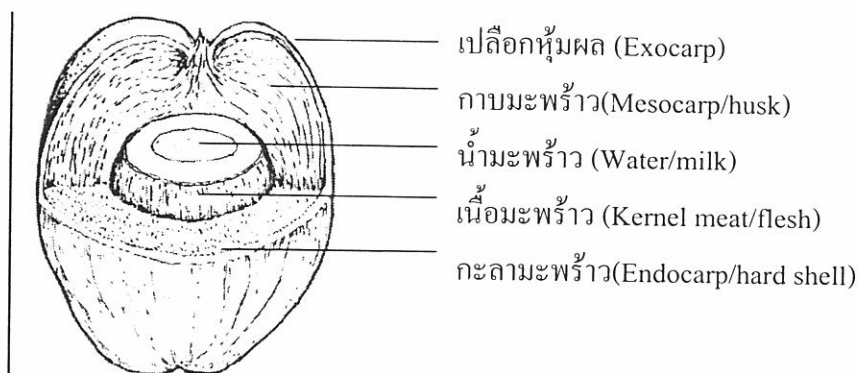
รูปที่ 2.5 หน่วยย่อยในโครงสร้างของลินิน [9]

### 2.8 มะพร้าว

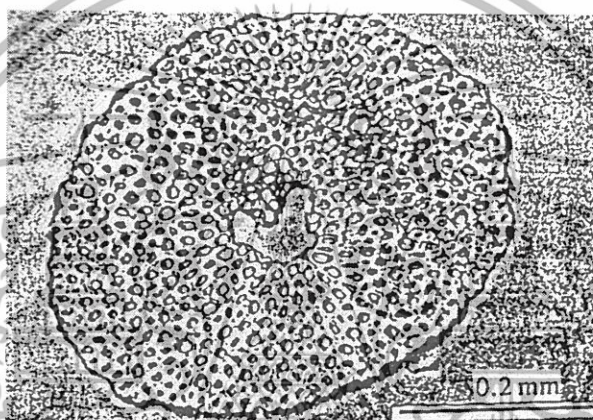
มะพร้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลปาล์มชนิดหนึ่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. มีแหล่งกำเนิดอยู่บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในแถบบริเวณตั้งแต่แหลมมลายูไปจนถึงนิวกีนิ ในประเทศไทยนิยมปลูกมะพร้าวกันทุกภาค โดยเฉพาะในภาคใต้มีพื้นที่ปลูกมะพร้าวมากกว่าทุกภาค คิดเป็นครึ่งหนึ่งของพื้นที่ปลูกมะพร้าวทั่วประเทศซึ่งผลมะพร้าวที่แก่จัดเรานำเนื้อมะพร้าวไปใช้ประโยชน์แล้วก็จะเหลือส่วนไม่ได้ใช้ประโยชน์ที่ทิ้งมากมาย โดยส่วนประกอบของมะพร้าวแสดงดังรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยมะพร้าว กาบมะพร้าวก็เป็นวัสดุเหลือทิ้งเช่นเดียวกัน นอกจากจะนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุในการปลูกต้นไม้ทางการเกษตร ทำปุ๋ย โดยผสมกับดิน เอาเส้นใยไปทำฟูกหรือที่นอนแล้ว ก็ยังมีการวิจัยในการนำกาบมะพร้าวมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า

เนื่องจากกาบมะพร้าวจะประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยมีหมู่ฟังก์ชันกรุปคล้ายกับเรซินสังเคราะห์จากกระบวนการเคมี จึงเป็นส่วนที่ทำให้มีคุณสมบัติคล้ายกับเรซินสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบผลมะพร้าว



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยมะพร้าว

## 2.9 องค์ประกอบของเส้นใยมะพร้าว

การหาปริมาณองค์ประกอบของกาบมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เซลลูโลสและโฮโล-เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของวัสดุที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยจะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน กรุปคาร์บอกซิลิก บเรซินสังเคราะห์ จากกระบวนการทางเคมี จึงเป็นส่วนทำให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีคุณสมบัติคล้ายกับเรซินสังเคราะห์ ดังนั้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากกาบมะพร้าวน่าจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนได้เหมือนกับเรซินสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว [10]

องค์ประกอบ	ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ของเส้นใยมะพร้าว
Alcohol-benzene solubility	3.8
Lignin (ash corrected)	22.6
Holocellulose	47.5
Alpha-cellulose	28.8
Beta-cellulose	4.6
Gamma-cellulose	14.1

## 2.10 เทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

เทคนิค AAS เป็นเทคนิควิเคราะห์ธาตุทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง มีสภาพไวสูง และมีความเฉพาะที่ดี จึงเหมาะกับห้องปฏิบัติการงานทั่วไปทั้งภาคอุตสาหกรรมและสถานศึกษาที่ต้องวิจัยเพื่อพัฒนาหรือควบคุมปริมาณให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

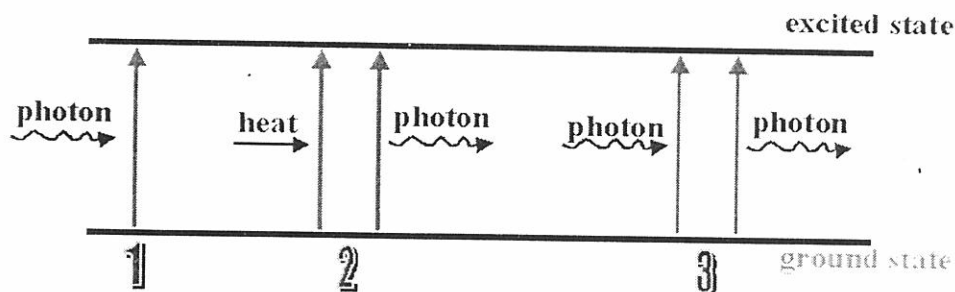
### หลักการของอะตอมมิคแอบซอร์ปชัน (Principles of Atomic Absorption)

อะตอมมิคแอบซอร์ปชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน เช่นอะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 589 นาโนเมตรเพราะแสงที่ความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็น spectroscopic line ของอะตอมมิคสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

การเกิดทรานซิชันจากสถานะพื้น ไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก (first excited state) มีด้วยกัน 3 แบบ ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดทรานซิชันจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรกทั้ง 3 แบบ

แบบที่ 1 เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิคแอมชอร์พซัน

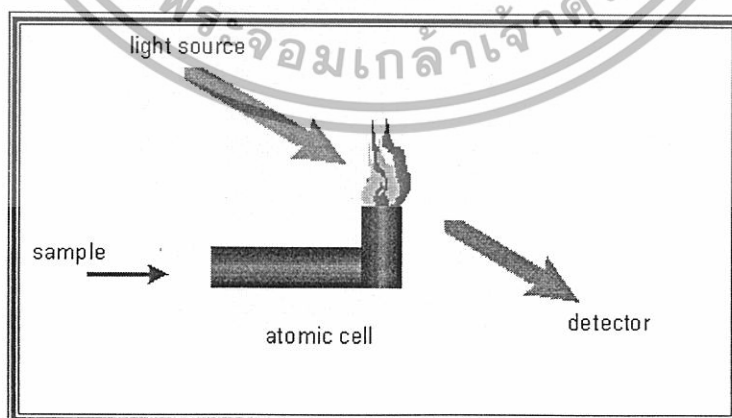
แบบที่ 2 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากความร้อน ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก แล้วปล่อยพลังงานออกมา เมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมา เรียกว่าอะตอมมิคอีมิสชัน

แบบที่ 3 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนที่มาจากสเปกตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้น เมื่อกลับมาสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาเรียกว่าเป็นการเกิดอะตอมมิคฟลูออเรสเซนซ์

เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการใช้เทคนิค Flame Atomization Technique

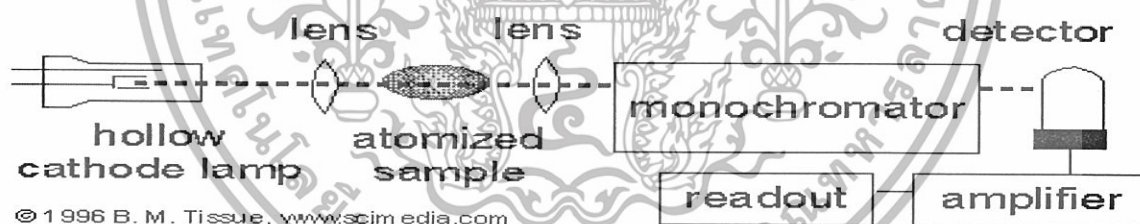
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้ Flameless Technique หรือ Non-flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่าง ๆ กัน และใช้เวลาต่าง ๆ กันได้

3. ใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิคที่ 1 และ 2 ไม่ได้ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่าย ๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ของธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb เป็นต้น

4. ใช้ Cold Vapor Generation Technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่าย ๆ ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะเพื่อที่จะให้เข้าใจถึงขั้นตอนของเทคนิคการวิเคราะห์ทาง AAS ตลอดจนหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง AAS ได้เข้าใจง่ายขึ้น โดยจะได้อธิบายและให้รายละเอียดเป็นส่วน ๆ ไป ดังต่อไปนี้

รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

#### 1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

ทำหน้าที่ปล่อยสเปกตรัมเฉพาะของธาตุที่ต้องการวัดซึ่ง โดยปกติแล้วจะต้องเป็นธาตุชนิดเดียวกับธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้งานในปัจจุบันมี 2 ประเภทคือ Hollow Cathode Lamp (HCL) และ Electrodeless Discharge Lamps (EDL)

#### 2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (Atomizer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นส่วนสำคัญที่จะกำหนดความถูกต้องของเทคนิคอะตอมอิสระในสถานะพื้นด้วยเปลวไฟ (ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นสารละลาย ของหนืด หรือของแข็งก็ได้) ที่อุณหภูมิสูง

### 3. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกสเปกตรัมของแสงที่ต้องการออกจาก background light เพื่อส่งต่อไปยังตัวตรวจวัด

### 4. ตัวตรวจวัด (Detector)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าตัวตรวจวัดที่นิยมใช้งานคือ Photomultiplier tube (PMT) เพราะมีความไวที่ดีและสามารถตรวจวัดแสงที่มีกำลังต่ำได้ ส่วนตัวตรวจวัดชนิดอื่น ๆ ที่มีใช้งาน เช่น photovoltaic cell, phototube และ semiconductor

### 5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (Data system and Read-out units)

โดยปกติสัญญาณที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้จะมีค่าน้อย ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณให้มากขึ้นก่อนที่จะส่งต่อสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์แล้วรายงานผลออกมาในหลาย ๆ รูปแบบ เช่น scale meter, digital meter, recorder/printer หรือคอมพิวเตอร์ [11]

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีดังนี้

เกษสุชา [12] ในการวิจัยนี้ใช้ผักตบชวาและชานอ้อย เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน องค์ประกอบในผักตบชวามีเซลลูโลส 43-44% ลิกนิน 12-15% แพน โดแซน 14-15% และสารอื่น ๆ ส่วนองค์ประกอบในชานอ้อยมีไฮโดรเซลลูโลส 82.52% แอลฟาเซลลูโลส 44% ลิกนิน 19.78% แพนโนแซน 27.21% และสารอื่น ๆ โลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ กระบวนการทางเคมีที่ใช้ปรับสภาพผักตบชวาและชานอ้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของผักตบชวาที่ไม่ปรับสภาพอยู่ในช่วง 0.686-0.809 meq/g และผักตบชวาที่ปรับสภาพ (carboxymethyl water hyacinth) อยู่ในช่วง 0.330-0.496 meq/g ส่วนชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าอยู่ในช่วง 0.065-0.086 meq/g และชานอ้อยที่ปรับสภาพ (Carboxymethyl bagasse) มีค่าอยู่ในช่วง 0.052-0.069 meq/g นอกจากนี้พบว่า การแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงมีค่าสูงกว่านิกเกิลและสังกะสีสำหรับอิทธิพลของความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย พบว่าน้ำเสียที่มีโลหะหนักน้อยมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูง ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 N สำหรับการรีเจนเนอเรชันใช้ประมาณ 3 ปริมาตรเรซิน

พิธิ [13] นำผักตบชวามาปรับสภาพด้วยสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 2, 5, 10, 20, 30, และ 37% (v/v) พบว่าการปรับสภาพโครงสร้างผักตบชวากับฟอร์มาลดีไฮด์ 5% เท่ากับ 1.0962, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.6983 และ 1.0375 meq/g สำหรับไอออนของทองแดง นิกเกิล และสังกะสีตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การแลกเปลี่ยนไอออนของทองแดงมีค่าสูงกว่าไอออนของนิกเกิล และสังกะสี หลังจากคอลัมน์หุ้มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะ จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยการใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ประมาณ 1 ปริมาตรเรซิน หลังจากการล้างคอลัมน์ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนก็สามารถนำคอลัมน์กลับมาใช้ใหม่โดยไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson สำหรับไอออนของโลหะทองแดง นิกเกิล และสังกะสี คือ -0.85, -1.00 และ -0.78 ตามลำดับ จากค่าสัมประสิทธิ์ข้างต้นพบว่าเมื่อลดความเข้มข้นของสารละลายที่มีไอออนของโลหะหนักลงจะมีผลทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบสังกะสี พบว่าคอลัมน์ชนิดนี้สามารถกำจัดไอออนของโลหะได้เป็นที่น่าพอใจ จากผลการวิจัยดังกล่าวสามารถนำผลตอบรับที่ผ่านการปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 5% มาใช้แทนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนในการกำจัดไอออนของโลหะหนักจากน้ำเสียชุบโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### สารเคมี

1. คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท CARLO ERBA
2. ฟอรั่มัลดีไฮด์ ( $\text{CH}_2\text{O}$ )
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
4. กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท CARLO ERBA

##### อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. ขวดพลาสติก
4. กระจกตวง
5. syringe
6. ปิเปต
7. ตะแกรงคัดขนาด (sieve) เบอร์ 80 และเครื่องเขย่าคัดขนาด (sieve shaker)
8. ลูกยาง
9. หลอดหยด
10. แท่งแก้วคน
11. ซ้อนตักสาร
12. กรวยแก้ว

##### เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น AA-680 ยี่ห้อ shimadzu
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น TC-254 Denver Instrument Company
3. pH meter รุ่น 251 Denver Instrument Company
4. เครื่องบดวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การเตรียมเส้นใยมะพร้าว

1. นำกาบมะพร้าวที่ตากแห้งแล้วมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน
2. นำแปรงลวดมาขัดกาบมะพร้าวได้เส้นใยที่ปราศจากขุย
3. แยกเอาเส้นใยมะพร้าวออกจากส่วนที่เป็นขุย
4. นำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
5. นำเส้นใยมะพร้าวที่อบแห้งแล้วไปบดด้วยเครื่องบดวัสดุแล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาด (sieve) เบอร์ 80

### 3.3 การเตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วนต่างๆ กัน

1. นำเส้นใยมะพร้าวที่เตรียมไว้มาใส่ในฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว(g) : CH<sub>2</sub>O(ml) : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml) เท่ากับ 4: 48: 160
2. ทำการปั่นกวนนาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
3. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง นำไปกรอง
4. ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน จนพีเอชของน้ำทิ้งประมาณ 4-5
5. นำไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
6. ทำการทดลองซ้ำโดยนำเส้นใยมะพร้าวที่เตรียมไว้มาใส่ในฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว(g) : CH<sub>2</sub>O(ml) : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml) เท่ากับ 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 แทนอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว(g) : CH<sub>2</sub>O(ml) : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml) เท่ากับ 4: 48: 160 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับสภาพเรซิน

### 3.4 การเตรียมสารละลายสต็อกทองแดงที่มีความเข้มข้น 1000 mg/L

1. ชั่ง คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตมา 3.9305 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. มาละลายน้ำเล็กน้อย ถ้วยลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

### 3.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ชุดที่ 1 สารละลายมาตรฐานทองแดงในน้ำกลั่น

1. ปิเปตสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 100 ppm มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร
2. ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดที่ 2 สารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์

1. ปิเปตสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 100 ppm มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร
2. ใส่ขดวัดปริมาตรขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์

ชุดที่ 3 สารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

1. ปิเปตสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 100 ppm มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร
2. ใส่ขดวัดปริมาตรขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

ชุดที่ 4 สารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.50 โมลาร์

1. ปิเปตสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 100 ppm มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร
2. ใส่ขดวัดปริมาตรขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.50 โมลาร์

### 3.6 การเตรียมสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm

1. ปิเปตสารละลายสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 100 ppm มา 2.5 มิลลิลิตร
2. ใส่ขดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

### 3.7 วิธีดำเนินการทดลอง

3.7.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยมะพร้าวประมาณ 0.5 กรัม ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ใช้แทนคอลัมน์
2. นำน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผ่านลงในคอลัมน์ ทำให้เส้นใยมะพร้าวแน่นขึ้น
3. นำสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมได้มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
4. นำน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
5. เตรียมสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm และน้ำกลั่นใหม่แล้วนำมา elute ในคอลัมน์เดิม ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับและการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
6. นำสารละลายที่เก็บไว้ไปตรวจวัดหาปริมาณโลหะทองแดงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7. ทำซ้ำอีกคอลัมน์โดยทำตามวิธีการข้างต้น

#### 3.7.2 การศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับโลหะทองแดง

1. นำสารละลายเล็กน้อยใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ใช้แทนคอลัมน์
2. นำน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผ่านลงในคอลัมน์ เพื่อให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น
3. นำสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมได้มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยอะครีลิกและเก็บสารละลายไว้
4. นำน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยอะครีลิกและเก็บสารละลายไว้
5. นำสารละลายที่เก็บไว้ไปตรวจวัดหาปริมาณโลหะทองแดงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

#### 3.7.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยอะครีลิกแบบไม่ปรับสภาพและการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยอะครีลิกด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริก 0.01 โมลาร์ และ 0.10 โมลาร์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานต่างกัน

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยอะครีลิกประมาณ 0.5 กรัม ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ใช้แทนคอลัมน์
2. นำน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผ่านลงในคอลัมน์ ทำให้เส้นใยอะครีลิกแน่นขึ้น
3. นำสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมได้มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยอะครีลิกและเก็บสารละลายไว้
4. นำน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยอะครีลิกและเก็บสารละลายไว้
5. ทำการทดลองซ้ำโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และ 0.10 โมลาร์ แทนน้ำกลั่นที่ใช้ elute ผ่านคอลัมน์ เพื่อศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยอะครีลิก
6. นำสารละลายที่เก็บไว้ไปตรวจวัดหาปริมาณโลหะทองแดงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานทองแดงในน้ำกลั่น
7. ทำการทดลองซ้ำโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และ 0.10 โมลาร์ แทนสารละลายมาตรฐานทองแดงในน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4 การศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยมะพร้าวประมาณ 0.5 กรัม ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ใช้แทนคอลัมน์
2. นำน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผ่านลงในคอลัมน์ ทำให้เส้นใยมะพร้าวแน่นขึ้น
3. นำสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมได้มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
4. นำกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
5. นำกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร มา elute ในคอลัมน์เดิม ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง เพื่อศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
6. นำสารละลายที่เก็บไว้ไปตรวจวัดหาปริมาณโลหะทองแดงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
7. ทำการทดลองซ้ำโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ และ 0.50 โมลาร์ แทนกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่ใช้ elute ผ่านคอลัมน์ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าว

3.7.5 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพ

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพประมาณ 0.5 กรัม ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ใช้แทนคอลัมน์
2. นำน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผ่านลงในคอลัมน์ ทำให้เส้นใยมะพร้าวแน่นขึ้น
3. นำสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมได้มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
4. นำกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
5. นำกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร มา elute ในคอลัมน์เดิม ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง
6. นำสารละลายที่เก็บไว้ไปตรวจวัดหาปริมาณโลหะทองแดงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.6 การศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพประมาณ 0.5 กรัม ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ใช้แทนคอลัมน์
2. นำน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผ่านลงในคอลัมน์ ทำให้เส้นใยมะพร้าวแน่นขึ้น
3. นำสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมได้มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
4. นำกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวและเก็บสารละลายไว้
5. นำกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 10 มิลลิเมตร มา elute ในคอลัมน์เดิม ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง
6. นำสารละลายที่เก็บไว้ไปตรวจวัดหาปริมาณโลหะทองแดงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทองแดงด้วยเส้นใยมะพร้าวโดยศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และแบบปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}$  (ml):  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml) เท่ากับ 4: 48: 160, 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 ตามลำดับ จากนั้นศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น และกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 0.01 โมลาร์, 0.10 โมลาร์ และ 0.50 โมลาร์ ได้ผลการทดลองดังนี้

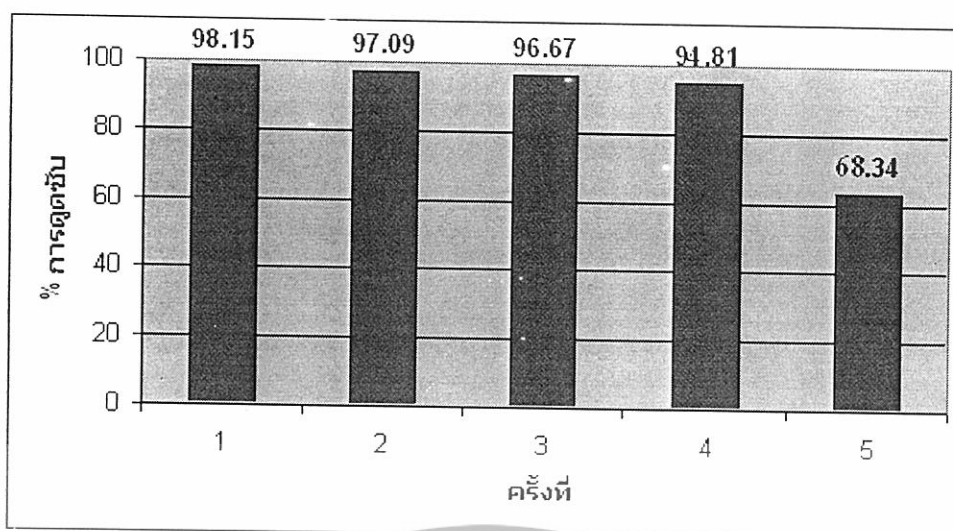
#### 4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น

ทดลองใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้สารละลายมาตรฐานทองแดงในน้ำกลั่น ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ผลการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ

ครั้งที่	% การดูดซับ			% SD
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
1	97.96	98.34	98.15	0.19
2	96.74	97.44	97.09	0.35
3	95.98	97.36	96.67	0.69
4	94.50	95.12	94.81	0.31
5	79.50	57.18	68.34	11.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



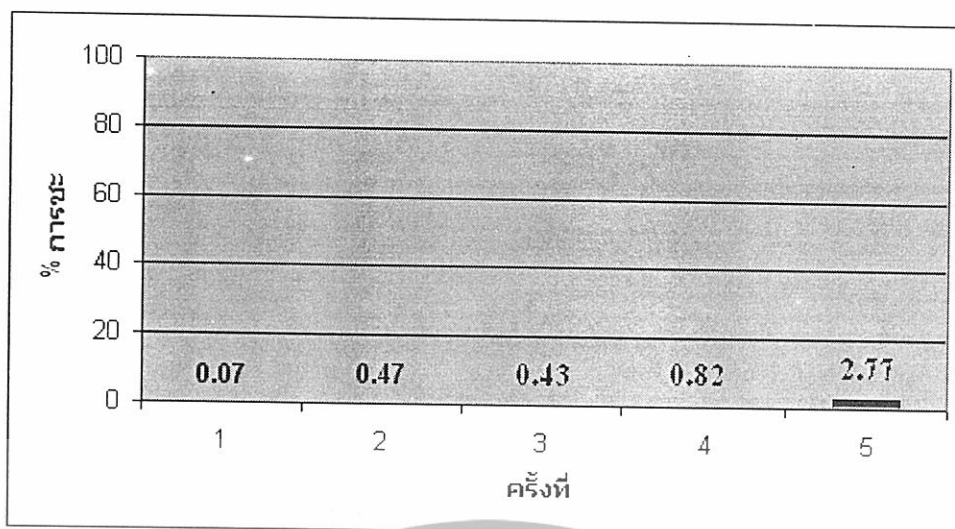
รูปที่ 4.1 แสดง % การดูดซับ โลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงออกจากสารละลายได้ดี แต่เมื่อผ่านสารละลายทองแดงลงไปในคอลัมน์เดิม ปริมาณมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวลดลง จึงเลือกใช้สารละลายทองแดง ปริมาณ 50 มิลลิกรัมในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดง % การชะ โลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพโดยใช้น้ำกลั่น

ครั้งที่	% การชะ			% SD
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
1	0.41	0.53	0.47	0.06
2	0.14	0.00	0.07	0.07
3	0.75	0.10	0.43	0.33
4	1.08	0.55	0.82	0.27
5	1.33	4.20	2.77	1.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าน้ำกลั่นสามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้น้อยมากเสมือนว่าน้ำกลั่นไม่มีประสิทธิภาพในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าว จึงเปลี่ยนสารละลายที่ใช้ชะเป็นกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และ 0.10 โมลาร์

#### 4.2 การศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับโลหะทองแดง

จากการทดลองชะสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ลงในคอลัมน์ที่บรรจุค่าพีเอชไว้เพียงอย่างเดียว พบว่าค่าพีเอชสามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ 1.7 % ซึ่งเป็นปริมาณไม่มากนักจึงถือว่าค่าพีเอชไม่ส่งผลต่อการดูดซับโลหะทองแดงในสารละลาย

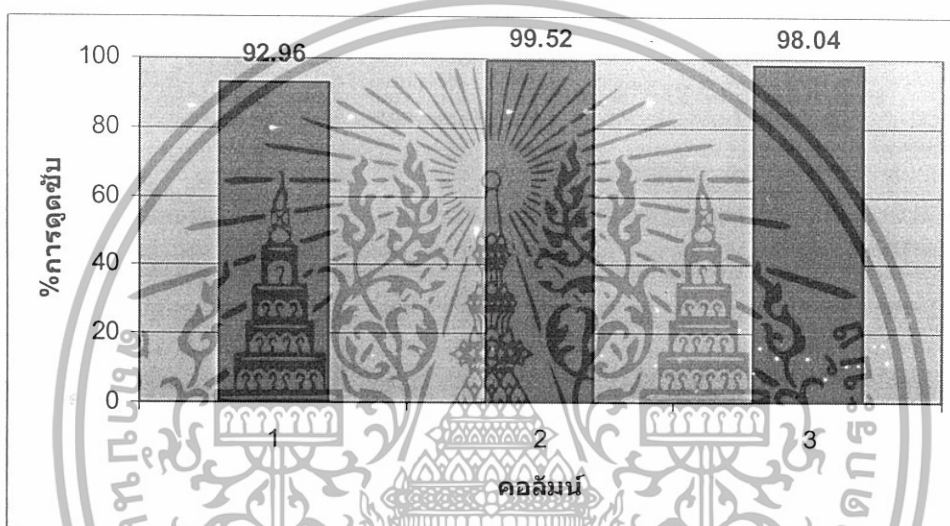
#### 4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และ 0.10 โมลาร์ โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานต่างกัน

การทดลองใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ และทำการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานทองแดงในน้ำกลั่น ได้ผลดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

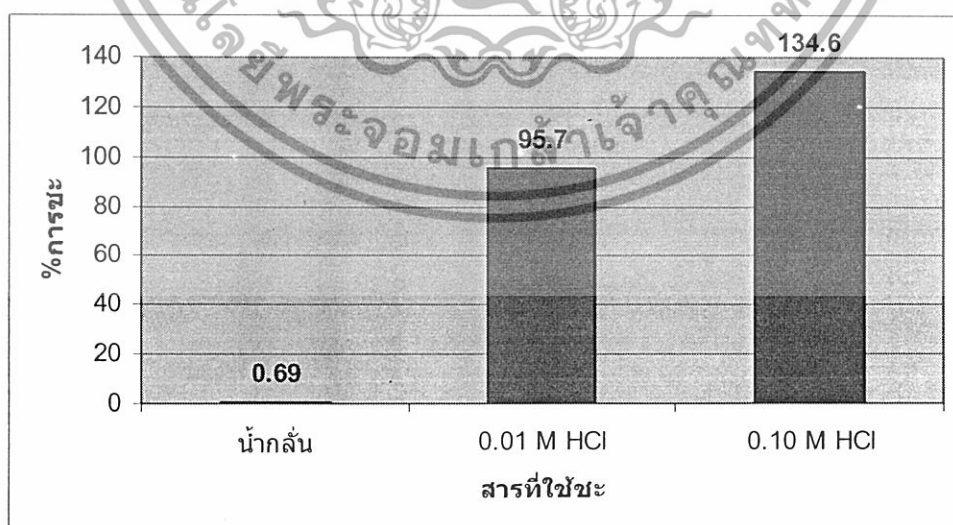
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และ % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ

คอลัมน์ที่	สาร (50ml)	% การดูดซับ	สาร (50ml)	% การชะ
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	92.96	น้ำกลั่น	0.69
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	99.52	0.01 M HCl	95.70
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	98.04	0.1 M HCl	134.60



รูปที่ 4.3 แสดง % การดูดซับโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ



รูปที่ 4.4 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่ากรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 M สามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้มากที่สุดแต่เนื่องจากสามารถชะโลหะทองแดงออกมาได้เกิน 100 % จึงเปลี่ยนจากสารละลายมาตรฐานทองแดงในน้ำกลั่น เป็นสารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.1M ตามลำดับ

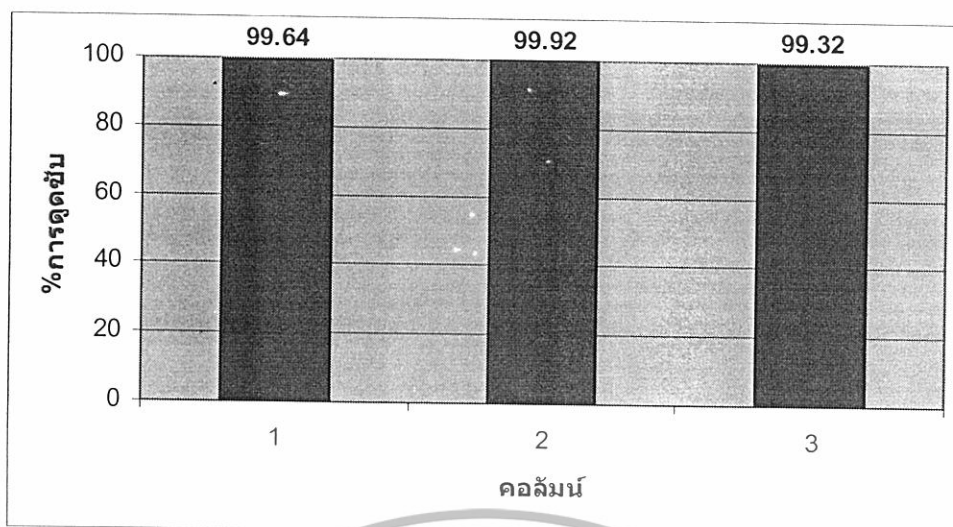
การทดลองใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์และทำการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01M และ 0.10 M โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M ได้ผลดังตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 M ได้ผลดังตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8

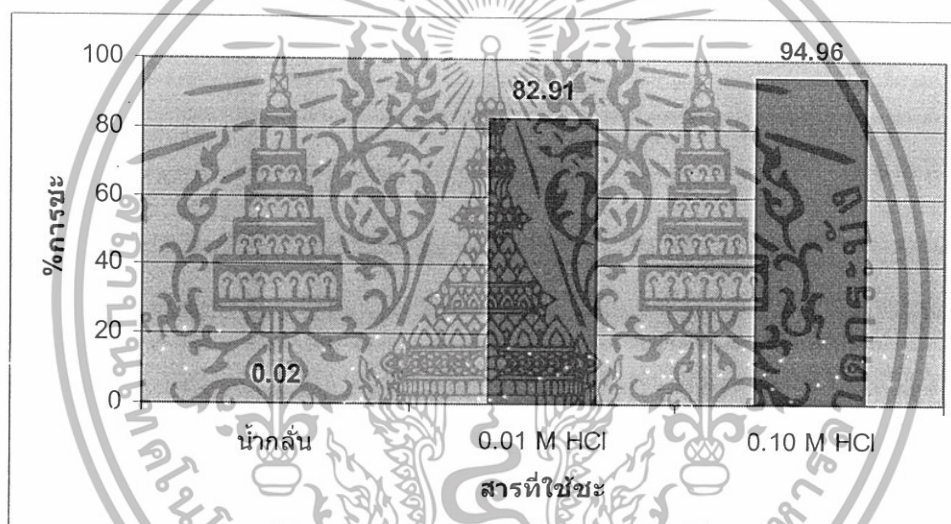
ตารางที่ 4.4 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และ % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ

คอลัมน์ที่	สาร (50ml)	% การดูดซับ	สาร (50ml)	% การชะ
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	99.64	น้ำกลั่น	0.02
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	99.92	0.01 M HCl	82.91
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	99.32	0.1 M HCl	94.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดง % การดูดซับ โดยใช้เส้นไยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ

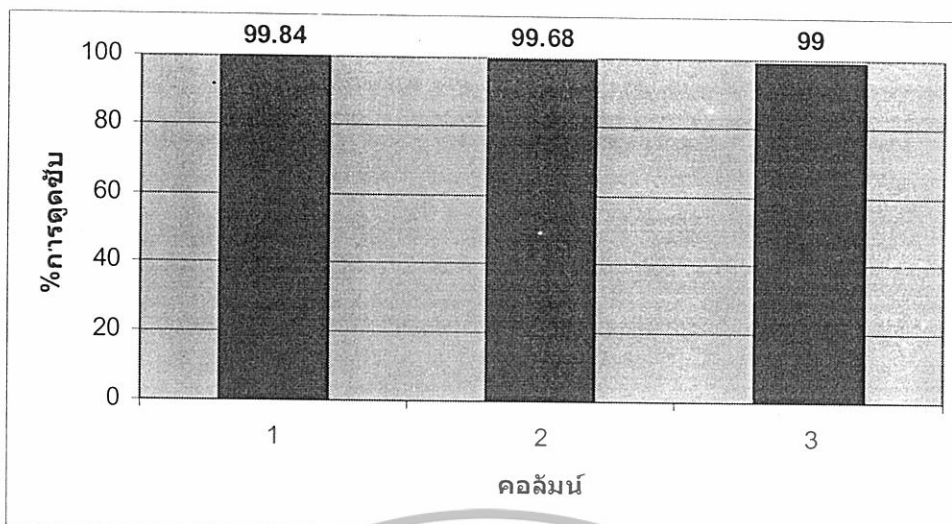


รูปที่ 4.6 แสดง % การชะ โลหะทองแดงออกจากเส้นไยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.10 M ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดง โดยใช้เส้นไยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และ % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นไยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.1 M ตามลำดับ

คอลัมน์ที่	สาร (50ml)	% การดูดซับ	สาร (50ml)	% การชะ
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	99.84	น้ำกลั่น	0.40
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	99.68	0.01 M HCl	91.21
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	99.00	0.1 M HCl	101.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดง % การดูดซับ โดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ



รูปที่ 4.8 แสดง % การชะ โลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M และ 0.1 M ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 รูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการทดลองโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานทองแดงในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 M และ 0.1 M จะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง และประสิทธิภาพในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวของกรดไฮโดรคลอริกดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

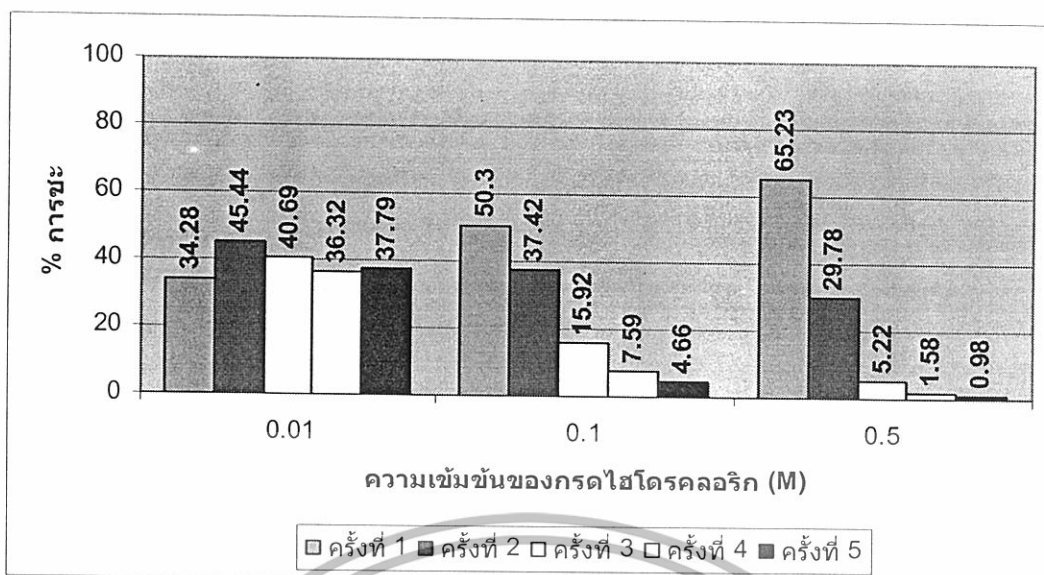
เมื่อทำการทดลองใช้เส้นใยมะพร้าวคูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ และนำเส้นใยมะพร้าวนั้นมาทดลองชะโลหะทองแดงออกมาด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 0.01 โมลาร์, 0.10 โมลาร์ และ 0.50 โมลาร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M 0.10 M และ 0.50 M ตามลำดับ

คอลัมน์ที่	สารที่ใช้ชะ	ครั้งที่	% การชะ
1	0.01 M HCl (ครึ่งละ 10 ml)	1	34.28
		2	45.44
		3	40.69
		4	36.32
		5	37.79
2	0.10 M HCl (ครึ่งละ 10 ml)	1	50.30
		2	37.42
		3	15.92
		4	7.59
		5	4.66
3	0.50 M HCl (ครึ่งละ 10 ml)	1	65.23
		2	29.78
		3	5.22
		4	1.58
		5	0.98

หมายเหตุ คอลัมน์ที่ 1 สารละลายมาตรฐานทองแดงใน 0.01 M HCl  
คอลัมน์ที่ 2 สารละลายมาตรฐานทองแดงใน 0.10 M HCl  
คอลัมน์ที่ 3 สารละลายมาตรฐานทองแดงใน 0.50 M HCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดง % การชะ โลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพด้วย กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M, 0.1 M และ 0.5 M

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ และ 0.50 โมลาร์ จะสามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้ดีในช่วงประมาณ 2 ครั้งแรก ซึ่งจะทำให้ใช้ปริมาณสารละลายน้อยลงได้ กล่าวคือเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นมีแนวโน้มที่จะสามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้ดีขึ้น

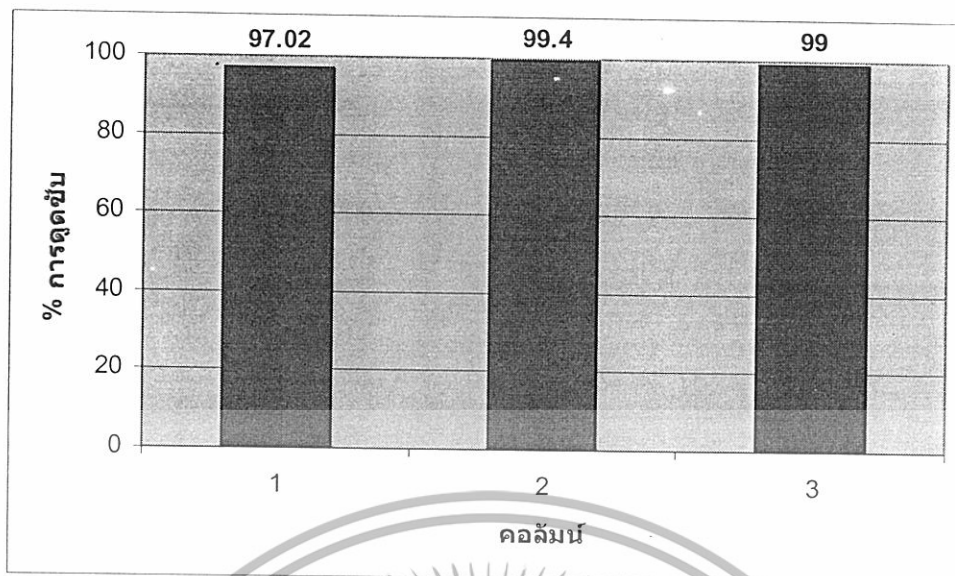
#### 4.5 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพ

ทดลองใช้เส้นใยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}$  (ml):  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml) เท่ากับ 4: 48: 160, 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 ดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ผลดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 แสดง % การดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนการปรับสภาพ	% การดูดซับ
4: 48: 160	97.02
6: 24: 80	99.40
10: 24: 80	99.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดง % การดูดซับ โลหะทองแดงโดยเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพด้วยอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}$  (ml):  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml) เท่ากับ 4:48:160, 6:24:80 และ 10:24:80 ตามลำดับ

#### หมายเหตุ

คอลัมน์ที่ 1 คืออัตราส่วนการปรับสภาพ 4:48:160

คอลัมน์ที่ 2 คืออัตราส่วนการปรับสภาพ 6:24:80

คอลัมน์ที่ 3 คืออัตราส่วนการปรับสภาพ 10:24:80

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}$  (ml):  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml) เท่ากับ 4:48:160, 6:24:80 และ 10:24:80 มีประสิทธิภาพในการดูดซับ โลหะทองแดงจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ

#### 4.6 การศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพแล้ว ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

เมื่อทำการทดลองใช้เส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพดูดซับโลหะทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์และนำเส้นใยมะพร้าวนั้นมาทดลองชะโลหะทองแดงออกมาด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดง % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวแบบปรับสภาพแล้ว ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 M

อัตราส่วนการปรับสภาพ	ครั้งที่	% การชะ
4: 48: 160	1	70.17
	2	40.87
	3	13.23
	4	4.70
	5	1.30
6: 24: 80	1	58.19
	2	31.22
	3	8.67
	4	3.23
	5	1.67
10: 24: 80	1	64.34
	2	25.68
	3	4.61
	4	1.20
	5	0.75

หมายเหตุ อัตราส่วนการปรับสภาพ หมายถึง ใยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}$  (ml):  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml)  
สารละลายทองแดง 5 ppm 50 ml  
กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ครั้งละ 10 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด โลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเป็นการนำเส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ คือ

1. เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพและแบบปรับสภาพ พบว่า แบบไม่ปรับสภาพ แบบปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ 40% (V/V) และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน เส้นใยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}(\text{ml})$ :  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{ml})$  เท่ากับ 4: 48: 160, 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ใกล้เคียงกัน
2. การศึกษาการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่า กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้มากที่สุดและมีแนวโน้มว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นจะสามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้มากขึ้น น้ำกลั่นสามารถชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวได้น้อยมากเสมือนน้ำกลั่น ไม่มีประสิทธิภาพในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าว
3. การศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับโลหะทองแดง พบว่าค่าพีเอชสามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ปริมาณไม่มากนักจึงถือว่าค่าพีเอชไม่มีผลต่อการดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

#### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการนำเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเส้นใยมะพร้าว ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริง โดยนำไปใช้ ในการบำบัดน้ำเสีย ที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำ หรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมาแล้ว แต่ยังคงมีปริมาณ โลหะหนักเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง
2. ศึกษาผลของการกำจัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักหลายชนิดรวมกัน ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเส้นใยมะพร้าว
3. นำผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด โลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการปรับสภาพอื่น ๆ เพื่อหาวัสดุแลกเปลี่ยนไอออนที่มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปทดแทนเรซินสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ขวัญเนตร สบายใจ. 2542. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจาก ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสีย้อม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย. 2548. ค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2548,จาก [http://www.il.mahidol.ac.th/course/ecology/chapter3/chapter3\\_water13.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/course/ecology/chapter3/chapter3_water13.htm)
- [3] ประเสริฐ แก้วเกษเกษ. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นไหมโดยใช้ระบบถังกรองและถัง คาร์บอนดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัย สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, สมชาย เอื้อพัฒนากุล และ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์.[ม.ป.ป.]. เทคนิคการแยก สารโดยวิธีโครมาโทกราฟี. [ม.ป.ท.:ม.ป.พ.].
- [5] มุกดา พัฒนาวณิชชัย, สกตวรรณ ห่านจิตสุวรรณ, สุกัญญา กำมะเลิศ. 2546. การใช้ประโยชน์ ของมวลแห้งของจอกหูหนูและผักตบชวาในการดูดซับอนูพันธ์ฟีนอล. โครงการพิเศษ ภาค เคมี่ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] Brown Lamay Bursten. 1977. **Chemistry The Central Science**, Seventh edition. Prentice-Hall Inc. Dorfner, K. 1977. **Ion Exchanger Properties and Application**, AnnArbor Science.
- [7] ชัชฎาพร งามอาจ. 2545. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับประรด และกาบมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] เจริญ สร้างสมสุขสกุล, สัญญา แต่งศรี. 2545. การกำจัดน้ำมันออกจากน้ำทิ้งด้วยกาบมะพร้าว และผักตบชวา. โครงการพิเศษ ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] ปราณีย์ พันธุสินชัย. 2532. **มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรม สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- [10] เกสร สุนทรเสรี. 2544. **มะพร้าวต้นไม่แห่งชีวิต**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- [11] แม้น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม. 2535. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] เกศสุชา พูลคำ. 2537. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากขานอ้อย และผักตบชวา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] พิธี กระสินธุ์ศรี. 2539. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดลิกโนเซลลูโลสฟอรั่มดัดไฮนที่ทำจากผักตบชวา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

## ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าที่ดิสเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	- ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. - น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือ ดงสู่ทะเลค่าที่ดิสเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าที่ดิสเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H <sub>2</sub> S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้ว แยกหาน้ำหนักของน้ำมัน และไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือ กำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่ อุณหภูมิ 20 °C) (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกัน ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่ อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกัน ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	
12.ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour Techique

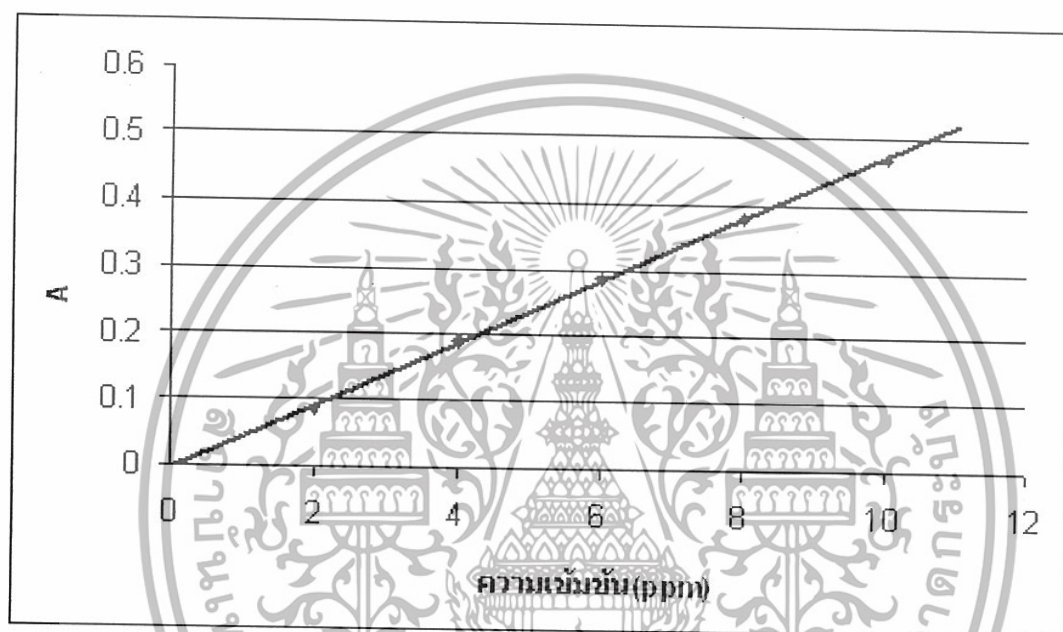
แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

กราฟมาตรฐานสารละลายทองแดง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นที่ทดลองได้

ตารางที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายจากคอลัมน์ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าว โดยใช้สารมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตในน้ำกลั่น

ครั้งที่	สาร (50 ml)	ค่าการดูดกลืนแสง		ค่าความเข้มข้น (ppm)	
		คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 2	คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 2
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.009	0.007	0.163	0.128
	น้ำกลั่น	0.001	0.001	0.020	0.026
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.005	0.004	0.102	0.083
	น้ำกลั่น	0.000	0.000	0.007	0.000
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.011	0.007	0.201	0.132
	น้ำกลั่น	0.002	0.000	0.036	0.005
4	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.015	0.013	0.275	0.244
	น้ำกลั่น	0.002	0.001	0.051	0.026
5	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.057	0.118	1.025	2.141
	น้ำกลั่น	0.003	0.006	0.053	0.120

ตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นเมื่อแก้คอลัมน์ด้วยตัวอย่างเดียว

สาร	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
สารละลายทองแดง 5 ppm	0.293	4.915
น้ำกลั่น	0.000	0.010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารชะออกมาจากคอลัมน์ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าว โดยใช้สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์-ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตในน้ำกลั่น

คอลัมน์ที่	สาร (50 ml )	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.015	0.353
	น้ำกลั่น	0.001	0.031
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.001	0.023
	0.01 M HCl	0.224	4.762
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.004	0.098
	0.10 M HCl	0.325	6.598

ตารางที่ 4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารชะออกมาจากคอลัมน์ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าว โดยใช้สารมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตใน 0.01 M HCl

คอลัมน์ที่	สาร (50 ml )	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.001	0.018
	น้ำกลั่น	0.000	0.001
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.000	0.005
	0.01 M HCl	0.213	4.142
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.001	0.034
	0.10 M HCl	0.241	4.717

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารชะออกมาจากคอลัมน์ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าว โดยใช้สารมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตใน 0.1 M HCl

คอลัมน์ที่	สาร (50 ml)	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.003	0.058
	น้ำกลั่น	0.001	0.021
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.001	0.017
	0.01 M HCl	0.224	4.546
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.003	0.050
	0.10 M HCl	0.244	5.031

ตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารที่ชะออกมาจากคอลัมน์ในการศึกษาปริมาณของสารที่ใช้ในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าว

คอลัมน์ที่	สาร	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
1	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.004	0.083
	0.01 M HCl	0.585	8.429
	0.01 M HCl	0.488	7.341
	0.01 M HCl	0.212	3.587
	0.01 M HCl	0.108	1.899
	0.01 M HCl	0.070	1.258
2	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.006	0.133
	0.10 M HCl	1.262	12.240
	0.10 M HCl	0.258	4.526
	0.10 M HCl	0.063	1.205
	0.10 M HCl	0.025	0.483
	0.10 M HCl	0.014	0.274

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 (ต่อ)

คอลัมน์ที่	สาร	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
3	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.005	0.088
	0.50 M HCl	0.693	16.020
	0.50 M HCl	0.145	2.543
	0.50 M HCl	0.019	0.313
	0.50 M HCl	0.005	0.090
	0.50 M HCl	0.003	0.055

หมายเหตุ สารละลาย สารละลายทองแดง 5 ppm 50 ml  
 สารละลาย HCl 0.01 M, 0.10 M และ 0.50 M ครึ่งละ 10 ml  
 คอลัมน์ที่ 1, 2 และ 3 ใช้สารละลายมาตรฐานทองแดงใน 0.01 M HCl, ใน 0.10 M HCl  
 และ ใน 0.50 M HCl ตามลำดับ

ตารางที่ 6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารที่ชะออกมาจากคอลัมน์ ในการศึกษา  
 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของเส้นใยมะพร้าวที่ปรับสภาพ

อัตราส่วนการปรับสภาพ	สาร	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
4: 48: 160	สารละลายทองแดง 5 ppm	0.014	0.149
	0.10 M HCl	0.950	17.020
	0.10 M HCl	0.240	2.957
	0.10 M HCl	0.052	0.566
	0.10 M HCl	0.016	0.177
	0.10 M HCl	0.004	0.046
6: 24: 80	สารละลายทองแดง 5 ppm	-0.000	-0.003
	0.10 M HCl	0.849	14.540
	0.10 M HCl	0.261	3.261
	0.10 M HCl	0.056	0.619
	0.10 M HCl	0.020	0.212
	0.10 M HCl	0.010	0.106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 6 (ต่อ)

อัตราส่วนการปรับสภาพ	สาร	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (ppm)
10: 24: 80	สารละลายทองแดง 5 ppm	-0.000	-0.005
	0.10 M HCl	0.912	16.070
	0.10 M HCl	0.191	2.287
	0.10 M HCl	0.028	0.305
	0.10 M HCl	0.007	0.076
	0.10 M HCl	0.004	0.047

## หมายเหตุ

อัตราส่วนการปรับสภาพ หมายถึง ไยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}$  (ml):  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ml)

สารละลาย สารละลายทองแดง 5 ppm 50 ml

สารละลาย HCl 0.10 M ครั้งละ 10 ml



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง.

ตัวอย่างการคำนวณ % การดูดซับโลหะทองแดงออกจากร้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เส้นใย  
มะพร้าว และ % การชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าว

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงออกจากร้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบไม่ปรับสภาพ และเส้นใยมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยสารละลายฟอสมัลดีไฮด์และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ สัดส่วนใยมะพร้าว (g):  $\text{CH}_2\text{O}$ :  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เท่ากับ 4: 48: 160, 6: 24: 80 และ 10: 24: 80 ตามลำดับ จากนั้นทำการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยมะพร้าวด้วยน้ำกลั่น และกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยทำการทดลองชะน้ำเสียสังเคราะห์ลงในคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยมะพร้าวแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง AAS

## วิธีการคำนวณ

เริ่มต้น ใส่สารละลายสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ลงในคอลัมน์ นั่นคือ

ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 5 มิลลิกรัม

ถ้าในสารละลาย 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.250 มิลลิกรัม

## คำนวณหา % การดูดซับ

เมื่อชะสารละลายสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง AAS ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.048 ppm นั่นคือ

ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.048 มิลลิกรัม

ถ้าในสารละลาย 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.0024 มิลลิกรัม

แสดงว่าเส้นใยมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้เท่ากับ  $0.250 - 0.0024 = 0.2476$  มิลลิกรัม ต่อเส้นใยมะพร้าว 0.5032 กรัม หรือเท่ากับ 0.4920 มิลลิกรัม ต่อเส้นใยมะพร้าว 1 กรัม

เริ่มต้นในสารละลายมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.250 มิลลิกรัม ใยมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้ 0.2476 มิลลิกรัม

ถ้าในสารละลายมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 100 มิลลิกรัม ใยมะพร้าวจะสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้ 99.04 มิลลิกรัม

ดังนั้น ใยมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้ 99.04 %

## คำนวณหา % การชะ

เมื่อชะคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดเครื่อง AAS จะได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 ppm นั่นคือ

ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม

ถ้าในสารละลาย 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.0002 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น โลหะทองแดงที่ถูกดูดซับไว้ในคอลัมน์เท่ากับ 0.2476 มิลลิกรัม จะถูกชะออกมาได้เท่ากับ 0.0002 มิลลิกรัม

ถ้าโลหะทองแดงถูกดูดซับไว้ในคอลัมน์ 100 มิลลิกรัม จะถูกชะออกมาได้เท่ากับ 0.08 มิลลิกรัม

ดังนั้น น้ำสามารถชะโลหะทองแดงออกจากโคมะพร้าวได้ 0.08 %

กรณีชะด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 M 5 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร

คำนวณหา % การดูดซับ

เมื่อชะสารละลายสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 5 ppm ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง AAS ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.083 ppm นั่นคือ

ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.083 มิลลิกรัม

ถ้าในสารละลาย 50 มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.00415 มิลลิกรัม

แสดงว่าเส้นโคมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้เท่ากับ  $0.250 - 0.00415 = 0.24585$  มิลลิกรัม ต่อเส้นโคมะพร้าว 0.5015 กรัม หรือเท่ากับ 0.4917 มิลลิกรัม ต่อเส้นโคมะพร้าว 1 กรัม

เริ่มต้นในสารละลายมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.250 มิลลิกรัม โคมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้ 0.24585 มิลลิกรัม

ถ้าในสารละลายมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 100 มิลลิกรัม โคมะพร้าวจะสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้ 98.34 มิลลิกรัม

ดังนั้น โคมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้ 98.34 %

คำนวณ % การชะ

ชะคอลัมน์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M จำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 10 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง AAS

ครั้งที่ 1

วัดความเข้มข้นของสารละลายที่ชะออกมาได้เท่ากับ 8.429 ppm นั่นคือ

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 8.429 มิลลิกรัม

ถ้าสารละลาย 10 มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.08429 มิลลิกรัม

โคมะพร้าวดูดซับโลหะทองแดงไว้ได้ 0.24585 มิลลิกรัม ชะออกมาได้ 0.08429 มิลลิกรัม คิดเป็น 34.28 %

ครั้งที่ 2

วัดความเข้มข้นของสารละลายที่ชะออกมาได้เท่ากับ 7.341 ppm นั่นคือ

สารละลาย 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 7.341 มิลลิกรัม

ถ้าสารละลาย 10 มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ 0.07341 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือโลหะทองแดงอยู่ในคอลัมน์เท่ากับ  $0.24585 - 0.08429 = 0.16156$  มิลลิกรัม จะออกมาได้  $0.07341$  มิลลิกรัม คิดเป็น  $45.44\%$

### ครั้งที่ 3

วัดความเข้มข้นของสารละลายที่ชะออกมาได้เท่ากับ  $3.587$  ppm นั่นคือ

สารละลาย  $1000$  มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ  $3.587$  มิลลิกรัม

ถ้าสารละลาย  $10$  มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ  $0.03587$  มิลลิกรัม

เหลือโลหะทองแดงอยู่ในคอลัมน์เท่ากับ  $0.16156 - 0.07341 = 0.08815$  มิลลิกรัม จะออกมาได้  $0.03587$  มิลลิกรัม คิดเป็น  $40.69\%$

### ครั้งที่ 4

วัดความเข้มข้นของสารละลายที่ชะออกมาได้เท่ากับ  $1.899$  ppm นั่นคือ

สารละลาย  $1000$  มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ  $1.899$  มิลลิกรัม

ถ้าสารละลาย  $10$  มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ  $0.01899$  มิลลิกรัม

เหลือโลหะทองแดงอยู่ในคอลัมน์เท่ากับ  $0.08815 - 0.03587 = 0.05228$  มิลลิกรัม จะออกมาได้  $0.01899$  มิลลิกรัม คิดเป็น  $36.32\%$

### ครั้งที่ 5

วัดความเข้มข้นของสารละลายที่ชะออกมาได้เท่ากับ  $1.258$  ppm นั่นคือ

สารละลาย  $1000$  มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ  $1.258$  มิลลิกรัม

ถ้าสารละลาย  $10$  มิลลิลิตร จะมีปริมาณโลหะทองแดงเท่ากับ  $0.01258$  มิลลิกรัม

เหลือโลหะทองแดงอยู่ในคอลัมน์เท่ากับ  $0.05228 - 0.01899 = 0.03329$  มิลลิกรัม จะออกมาได้  $0.01258$  มิลลิกรัม คิดเป็น  $37.79\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้