

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดทองแดงด้วยเส้นใยอ้อย

3 122



T107772



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 107772  
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b. 122 10.156  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Copper Removal Using Sugar Cane Fiber**



**A Special Project Submitted in Partial fulfillment of the Require 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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง**      การกำจัดทองแดงด้วยเส้นใยอ้อย  
**นักศึกษา**                    นางสาวชลันรัชน์ ชุ่มรัมย์      45050675  
    นางสาวศนิกาญจน์ ชื่นชมสิน      45050701  
**ภาควิชา**                      เคมี คณะวิทยาศาสตร์  
**สาขาวิชา**                    เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์  
**ปีการศึกษา**                2548  
**อาจารย์ที่ปรึกษา**        ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

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

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การกำจัดทองแดงด้วยเส้นใยอ้อย		
นักศึกษา	นางสาวชันทันรัตน์	ยิ้มแย้ม	45050675
	นางสาวศนิกาญจน์	ชื่นชมสิน	45050701
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์		
ปีการศึกษา	2548		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ		

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพบว่าน้ำเสียจากโรงงานส่วนใหญ่มีโลหะปนเปื้อนมากับน้ำ ทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำแก่แหล่งน้ำต่างๆ ซึ่งเป็นอันตรายแก่ผู้คนและสัตว์น้ำ ด้วยเหตุนี้เราจึงทำการศึกษาการกำจัดโลหะด้วยวิธีต่างๆ โดยอาศัยวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ประโยชน์ วัสดุที่ใช้คือเส้นใยออยนำมาใช้กำจัดโลหะอาศัยหลักการดูดซับแล้วตรวจวัดปริมาณโลหะด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) อีกทั้งเรายังศึกษาการแลกเปลี่ยนไอออนเมื่อปรับสภาพเส้นใยออยเพื่อใช้กำจัดโลหะได้ดีขึ้น เช่น ปรับสภาพเส้นใยออยด้วยกรดไฮโดรคลอริกและฟอร์มัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Copper Removal Using Sugar Cane Fiber  
**Name** Miss Chalanrat Yimyeam 45050675  
Miss Sanikarn Chuenchomsin 45050701  
**Department** Chemistry Faculty of Science  
**Program** Industrial Chemistry - Analytical Instrumentation  
**Academic Year** 2005  
**Special Project Advisor** Dr. Wiboon Praditweangkum



### ABSTRACT

At present, heavy metal in wastewater from industry factory caused a major pollution to people and animals. For this reason, the research is conducted to study removal of heavy metal by useful agriculture material. The agriculture material is sugar cane fiber. It was brought to absorb heavy metals and to measure a quantity of heavy metal by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). In addition to study ion exchange heavy metal. By mean of sugar cane fiber were adjusted with sulfuric acid and acidic formaldehyde solution. The result of experiment was found that sugar cane fiber absorbed heavy metals in the vicinity and decreased when treat repeat. The part of heavy metal elution were eluted with sulfuric acid at concentration of 0.01, 0.1, 0.5 M and deionize water. It was found that sulfuric acid at concentration of 0.01 M was the most effective for elution metals to leave sugar cane fiber.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของทุกท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และคณะกรรมการ ที่กรุณาติดตามตรวจสอบดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่ได้ให้คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ พี่น้อง และเพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุกคนที่ให้ความสนใจและช่วยเหลือในทุกๆด้านจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

น.ส. ชลันรัชณี ยิ้มแย้ม

น.ส. ศนิภาญจน์ ชื่นชมสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	
2.1 โลหะหนัก	3
2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	3
2.3 โลหะที่ทำการวิเคราะห์	4
2.4 ชานอ้อย (Bagasses)	5
2.5 การดูดซับ (absorption)	7
2.6 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน	8
2.7 Atomic Absorption Spectrophotometry	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 การเตรียมเส้นใยอ้อย	27
3.3 การเตรียมสารละลาย stock ทองแดงเข้มข้น 1000 mg/L (ppm)	27
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	43
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	53
ภาคผนวก ค	55
ภาคผนวก ง	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่าง	13
2. ลำดับความชอบไอออนของเรซินในน้ำที่มีสารละลายน้ำ 1,000 mg/L	18
3. ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Crosslinking กับการเลือกจับไอออน ของCation exchange resin	19
4.1 ผลการดูดซับโลหะหนักด้วยเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ	31
4.2 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะโลหะหนักออก จากเส้นใยอ้อยของชุดการทดลองที่2	33
4.3 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะโลหะหนักออก จากเส้นใยอ้อยของชุดการทดลองที่3	35
4.4 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะโลหะหนักออก จากเส้นใยอ้อยของชุดการทดลองที่4	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. ลักษณะโครงสร้างของเซลล์โอส	6
2. ลักษณะโครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	11
3. การแลกเปลี่ยน $\text{Na}^+$ ของเรซินแบบกรดแก่กับไอออนบวกทุกตัวในน้ำ	14
4. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	22
4.1.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะทองแดง	32
4.1.2 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดง	32
4.2.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะทองแดง	34
4.2.2 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดง	34
4.3.1 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ	36
4.3.2 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 5:12:40	36
4.3.3 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 10:60:200	37
4.3.4 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 15:60:200	38
4.4.1 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ	41
4.4.2 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 5:12:40	41
4.4.3 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 10:60:200	42
4.4.4 เปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 15:60:200	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้มีโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเกิดขึ้นมากมาย โรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยน้ำทิ้งออกมาซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่ต้องใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสม น้ำทิ้งจากโรงงานเหล่านี้จะมีโลหะหนักปนเปื้อนออกมาด้วยซึ่งหากมีปริมาณมากจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม / ลบ.ซม. ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท โครบอลต์ เหล็ก ทองแดง เป็นต้น ความเป็นพิษของโลหะหนักเกิดจากโลหะหนักที่ร่างกายได้รับทางระบบต่างๆ ของร่างกายไปรบกวนการทำงานของระบบเอ็นไซม์ของเซลล์ และจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การควบคุมการลำเลียงของสารต่างๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติไป โลหะหนักบางชนิดมีผลต่อสมบัติทางด้านโครงสร้างหรือเคมีไฟฟ้าของเซลล์ ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิดและเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ผิวหนัง

จากการศึกษาพบว่าเส้นใยอ้อยมีโครงสร้างเป็นเซลล์ลูลอสซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนัก ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเส้นใยอ้อยมาปรับสภาพในสภาวะต่าง ๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ดีขึ้น

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาการดูดซับโลหะหนักโดยใช้เส้นใยอ้อยและศึกษาการปรับสภาพเส้นใยอ้อยในสภาวะต่าง ๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ดีขึ้น

#### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โลหะหนักที่ศึกษาคือ ทองแดง
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนักด้วยเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพกับเส้นใยอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพในสภาวะต่าง ๆ
3. วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลจากแหล่งที่เกี่ยวข้อง
2. วางแผนการทดลองโดยจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี สารตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้
3. ดำเนินการทดลองโดยศึกษาหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักของเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพเปรียบเทียบกับเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพในสภาวะต่าง ๆ วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมทรี

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการนำเส้นใยอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดการประโยชน์
2. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยอ้อยเพื่อกำจัดโลหะหนัก
3. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยอ้อยเพื่อกำจัดโลหะหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โลหะหนัก [1]

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 23 -92 อยู่ในคาบ 4 - 7 ในตารางธาตุและความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ในสถานะปกติโลหะหนักเมื่ออยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์มีความเป็นพิษเล็กน้อยแต่ถ้าอยู่ในรูปสารประกอบบางตัวจะเป็นอันตรายมาก โลหะหนักมีทั้งหมด 68 ธาตุ เช่น ตะกั่วปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ สารหนู เป็นต้น โลหะหนักที่มีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู มนุษย์ได้รับโลหะหนักเข้าไปในร่างกาย อาจจะเนื่องมาจากโลหะหนักสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารและในขบวนการทางชีวภาพ มนุษย์อาจจะบริโภคเข้าไปโดยตรง หรือได้สัมผัสหรือได้รับโดยทางอ้อมมักพบโลหะหนักปนเปื้อนในตะกอนมากกว่าในน้ำเสมอ เพราะตะกอนมีประจุเป็นลบเป็นส่วนใหญ่ ส่วนโลหะหนักมีประจุเป็นบวก จึงมีความสามารถเกาะยึดกันได้ดีกว่าในน้ำ

#### 2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย [2]

กระบวนการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียมียหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกวิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการหลังการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

##### 1) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน กระบวนการนี้จะทำน้ำที่เปลี่ยนสภาพของต่างๆ ที่ละลายอยู่ในรูปสารละลายให้เป็นสารที่อยู่ในรูปไม่ละลาย โดยวิธีเติมสารเคมีให้ผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง ซึ่งการตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมีมีหลายวิธีด้วยกันแต่นิยมใช้ในขบวนการไฮดรอกไซด์และการตกตะกอนซัลไฟด์

##### 2) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)

กระบวนการนี้อาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับด้วยเรซินไม่เท่ากัน ในการแยกโลหะหนักออกจากสารละลายโดยสารที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนซึ่งมาจากธรรมชาติ และสังเคราะห์ขึ้นจะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้ามซึ่งอยู่ในสารละลาย เหมาะสำหรับการกำจัดโลหะที่มีปริมาณน้อยและประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) การออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis)

เป็นการแยกโลหะออกจากรน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนซึ่งจะใช้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น จะต้องใช้ความดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ

### 4) การระเหย (evaporation)

เป็นวิธีการง่ายๆทำโดยระเหยน้ำออกทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีทั้งการระเหยที่ความดันบรรยากาศและการระเหยภายใต้สุญญากาศได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงๆเท่านั้นเป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินสูง

### 5) อิเล็กโทรไดอะไลซิส (electrodialysis)

วิธีการนี้จะเป็นการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรง ร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (ion selective membrane) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรนความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีการนี้มีต้นทุนการก่อสร้างและการดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดขนาดของไอออนที่ต้องการได้

### 6) การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (electrolytic recovery)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูงแต่ไม่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

### 7) การดูดซับ (adsorption)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับมักจะเป็นถ่านกัมมันต์ (activated carbon) กระบวนการนี้สามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักได้ จนเหลือถึงระดับที่ยอมรับให้มีได้

## 2.3 โลหะที่ทำการวิเคราะห์ [1]

### ทองแดง (Copper)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้ประโยชน์

ทองแดงจะถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายชนิด ได้แก่ การนำไปทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าใช้ในงานก่อสร้างอาคาร อุปกรณ์ และเครื่องจักร และใช้ในส่วนประกอบของยาปราบศัตรูพืชใช้ในงานทำเหมืองในอุตสาหกรรมเส้นใยและเซรามิก

## ความเป็นพิษ

ทำให้เกิดโรค Wilson Disease ซึ่งเป็นความผิดปกติเนื่องจากมี ระดับทองแดงสะสมอยู่ในร่างกายมาก ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุร่างกายได้รับทองแดงเข้าไปมากจะเกิดอาการเป็นพิษเฉียบพลันคือ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปัสสาวะเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ และอาจทำให้เสียชีวิตถ้ามีความเข้มข้นของทองแดงในดินสูง จะเป็นพิษต่อพืชไปทำลายปลายยอดของต้นไม้ในห้วงอวกาศต่อไป

## 2.4 ขานอ้อย (Bagasses) [3,4]

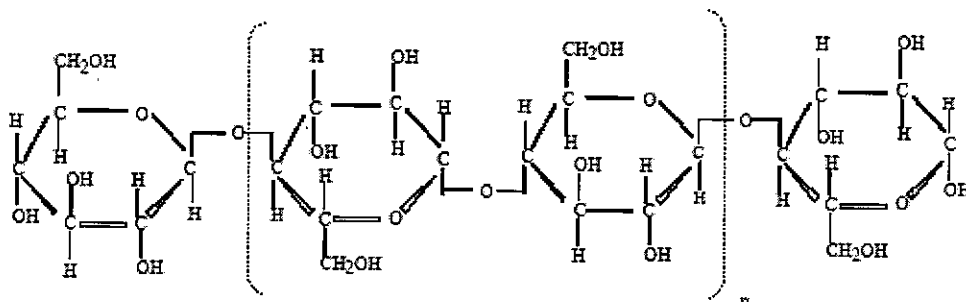
เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญพบได้ง่ายทั่วไปตามธรรมชาติและมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติจะประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

### เส้นใยอ้อย

เส้นใยอ้อยมีลักษณะคล้ายกับเส้นใยของฝ้ายและขนสัตว์ คือ มีลักษณะโครงสร้างขดเป็นวง มีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0-4.0 มิลลิเมตร และกว้าง 0.01-0.04 มิลลิเมตร ลักษณะของเส้นใยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของขานอ้อย สำหรับส่วนประกอบทั่วไปของขานอ้อยโดยประมาณ คือ ความชื้นร้อยละ 49 ของแห้งที่ละลายได้ ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่น้ำตาลร้อยละ 6 ของแห้งที่ละลายไม่ได้หรือส่วนที่เป็นเส้นใย (Fiber) ร้อยละ 45 โดยส่วนที่เป็นเส้นใยนี้จะไม่ละลายน้ำและจะประกอบด้วย เซลลูโลส เพนโตเซน (Pentosans) และลิกนิน

### 1. เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides)เชิงเส้นตรง ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆกัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืชโดยพบรวมกัน ลิกนิน เพนโตเซน กัม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เซลลูโลสจะมีโมเลกุลยาวและแข็งโดยเซลลูโลสในขานอ้อยจะมีสายโซ่พอลิเมอร์ ประมาณ 2,000-3,000 หน่วยโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส

เซลลูโลสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง อุณหภูมิหลอมตัวจะสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัวและมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแตกต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการทดสอบความหนืด

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเซลลูโลส ได้แก่

- การดูดซับความชื้น เซลลูโลสจะมีการดูดหรือคายน้ำและของเหลวอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆจนกระทั่งถึงจุดสมดุล ซึ่งสมดุลของปริมาณความชื้นของเซลลูโลสจะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบๆนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติบางประการ เช่น ความทนแรงดึงของเส้นใยฝ้ายจะมากขึ้นเมื่อมีความชื้นสูงขึ้น แต่เส้นใยเรยอนจะมีค่าลดลง ส่วนคุณสมบัติการนำไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีความชื้นมากขึ้น

- เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้นเซลลูโลสจะเกิดไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง แต่จะหยุดที่อุณหภูมิต่ำ สารละลายของเกลือบางชนิดที่เข้มข้นจะทำให้เซลลูโลสบวมตัวและบางที่จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำละลายได้ ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญบางประการหนึ่งของเซลลูโลสและอนุพันธ์ โดยความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น

- ความหนาแน่นของของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยวจะไม่เป็นค่าแน่นอน ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของเส้นใยเซลลูโลสจะแปรตามแหล่งที่มาและอาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เพนโตแซน

เพนโตแซนเป็นรูปหนึ่งของเฮมิเซลลูโลส สามารถละลายน้ำได้ ประกอบด้วยหน่วยน้ำตาลเพนโตสมากกว่ากลูโคส และมีค่าคีกริงของโพลีเมอร์ต่ำกว่าเซลลูโลสโดยประมาณ 40 หน่วย เมื่อไฮโดรไลซิสเพนโตแซนจะได้ไซโตส อะราบิโนสและกรดยูโรนิกแต่ถ้าต้มด้วยกรดเกลือเพนโตแซนจะเปลี่ยนเป็นเฟอฟูรัล

## 3. ลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีสูตรโมเลกุล  $C_{49}H_{52}O_{14}$  โครงสร้างทางเคมีจะเป็นวงแหวนอะโรมาติกขนาดใหญ่ประกอบด้วยวงเบนซีนและหมู่ฟีนอลที่มีและไม่มีกรดคาร์บอกซิลิก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น พืชที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงทนทาน

## 2.5 การดูดซับ (absorption) [5]

### หลักการ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาจับและติดที่ผิวของมันซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (absorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (absorbent)

การดูดซับมีความสามารถในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุมประสิทธิภาพดีและระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพนอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพ คือต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่ฉุนแรง

การดูดซับที่สำคัญมี 2 แบบ คือการดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้ เกิดขึ้นเมื่อมวลโมเลกุลในของเหลวเข้าใกล้ และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นของโมเลกุลจะอยู่บนชั้นโมเลกุลของสารก่อนหน้า จำนวนชั้นของโมเลกุลจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบทางกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงมีค่าน้อยการหลุดออกของสารดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้มีความหนาของ โมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับมาเองได้ (Irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับเองได้ (Reversible) เนื่องจากมีการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ โดยทั่วไปประมาณ 2 – 10 กิโลแคลอรีต่อ โมล

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์และแอกติเวกเตด ซิลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก
2. ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกับ
3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกับ

## 2.6 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน [6]

การแลกเปลี่ยนไอออน(อนุภาคที่มีประจุ)เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง โครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

หน้าที่และกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

หน้าที่และกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน มี 2 ประการ ซึ่งเกิดต่อเนื่องกันคือ

1. การกำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  เป็นต้น นอกจากนี้ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะพิษต่าง ๆ ออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้ต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษโลหะพิษที่ใช้เรซินกำจัดออก ได้แก่ อาเซนิก แบริลียม แคดเมียม โครบอลต์ทองแดง ทอง ตะกั่ว เซเลเนียม เงิน แวนาเดียม และสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำให้ไอออนต่างๆมีความเข้มข้นสูงมากๆ คือ ไอออนที่ถูกกำจัดออกจากสารละลายจะหลุดออกมาที่สารละลายรีเจนเนอเรนต์(Regenerant)ในระหว่างการทำรีเจนเนอเรชั่น(Regeneration) เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่าปริมาณสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออน ความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงอย่างมากซึ่งเป็นการทำให้ ไอออนซึ่งเดิมเจือจางมากมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายๆ เท่าการแลกเปลี่ยน ไอออน ได้รับการประยุกต์ให้ใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เช่น การแก้ความกระด้างของน้ำ (Softener) การทำให้น้ำบริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralizer) การกำจัดสารอินทรีย์ (Organic removal) ตัวอย่างการแลกเปลี่ยน ไอออน สำหรับ Softener อาจเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



เมื่อ R คือตัวกลางของแข็งซึ่งเดิมอยู่ในรูปของโซเดียม ( $Na^+$ ) เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของหมู่ไอออนตัวกลาง ซึ่งใช้แลกกับไอออนบวกที่อยู่ใน น้ำคือ  $Ca^{2+}$  ในปริมาณที่สมมูลกันสำหรับตัวกลางของแข็งที่อยู่ในรูปของแคลเซียม เมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับเกลือแกงซึ่งมี  $Na^+$  อยู่เป็นจำนวนมากจึงจะเกิดการแลกเปลี่ยน ไอออนกลับมาเป็นตัวกลางที่อยู่ในรูปของโซเดียมอีกทำให้สามารถนำกลับไปใช้จำกัดความกระด้างใหม่ได้อีก เขียนสมการเคมีใหม่ได้ดังนี้



โดยสารละลายเกลือแกงจะต้องมีความเข้มข้นในปริมาณมากเพื่อให้สมมูลของปฏิกิริยากลับทิศทาง

### โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดสมรรถภาพในการแลกเปลี่ยน ไอออนเรซินจะมีโครงร่างคล้ายตาข่ายสามมิติ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ โครงร่างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ตามตำแหน่งต่างๆบนตาข่ายเรียกว่า Functional group หมู่ไอออนนี้ส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับ โครงร่างและไม่เคลื่อนที่ อีกส่วนหนึ่งเคลื่อนที่ได้และเป็นส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนกับ ไอออนที่อยู่ในน้ำ โครงร่างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างไรที่ปรากฏและคงรูปอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและไม่แตกหักโดยง่าย โครงร่างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันซึ่งต่อกันเป็นสายยาวและมีไฮโดรคาร์บอนอีก ชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติ (รูปที่ 2) ที่ มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งใสของเรซินขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการประสาน (Degree of crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ถ้าปริมาณของตัวประสานมาก โครงร่างของเรซินจะแข็งและทึบแต่ถ้าปริมาณของตัวประสานน้อย โครงร่างของเรซินจะอ่อนและโปร่ง ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินกับ โครงร่างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนด ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน(Exchange capacity) และกำหนดลักษณะอื่นๆของเรซินด้วย เช่น ความชื้นในเรซิน เป็นต้น กล่าวคือเรซินจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

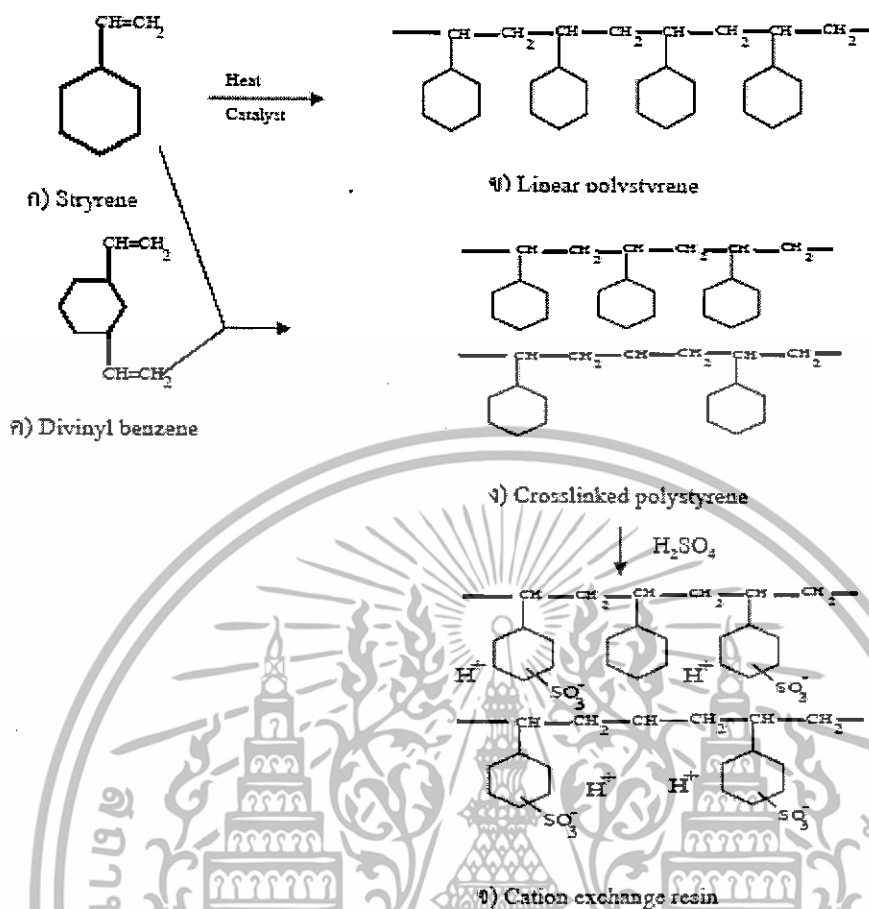
มีความพรุนพอเพียงที่จะทำให้ไอออนต่างๆ เคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวกจึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ เรซินที่มี Degree of crosslinkage สูงเกินไปจะมีความพรุนต่ำทำให้ความชื้นอยู่ในเรซินน้อยซึ่งจะแตกหักง่ายเรซินที่มี Degree of crosslinkage ต่ำเกินไปจะมีความพรุนมากทำให้ร่อนน้ำได้มากแต่สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวต่ำ

หมู่ไอออน(Functional group) ของเรซิน เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น ถ้าส่วนโครงร่าง Matrix มีประจุลบประจำตัว Functional group จะมีประจุบวกเรียกว่าเป็น Cation exchanger คือเป็นสารแลกเปลี่ยนประจุบวก ถ้าโครงร่าง Matrix มีประจุบวกประจำตัว Functional group จะมีประจุลบ เรียกว่าเป็น Anion exchanger คือเป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ

เรซินสังเคราะห์ โดยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นสารพวก Polystyrene ที่รวมตัวอยู่กับ Divinylbenzene โดย Functional group ของ Cation exchanger เป็นพวก Sulphonic, Carboxylic หรือ Phosphonic ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion exchanger) จะเป็นพวกที่มี Functional group เป็นพวก Quarternary ammonium , Primary amine หรือ Secondary amine โครงสร้างของเรซิน (Matrix) อาจแบ่ง ลักษณะทางฟิสิกส์ได้ 3 ลักษณะ คือ

1. Gel type มีลักษณะนิ่มคล้ายวุ้นสามารถบรรจุ Functional group ได้มากแต่รูพรุนมีขนาดเล็กและถี่มากเป็นพวก Membrane ข้อเสียคือเกิดการอุดตันได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าเป็น Stronganion exchanger
2. Macroporous type มีความพรุนมากกว่า คือมีพื้นที่ผิวมากถึง 100 ตารางเมตรต่อกรัมทำให้ไม่ค่อยอุดตันเป็นพวก Polystyrene Divinylbenzene แบบโครงร่างมี DVB 8-12% โดยถ้า%DVB น้อย การฟองตัวขาดตัวจะมาก การวิ่งเข้าออกของไอออนผ่านเรซินจะดี แต่ความแข็งแรงมีน้อย
3. Opaque gel เป็นโครงร่างที่แข็งแรงแต่สามารถบรรจุ Functional group และยึดหดได้ มากพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ลักษณะ โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

(ภาพ ก.) ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นต้นกำเนิดคือ Styrene

(ภาพ ข.) เมื่อหลายโมเลกุลมาต่อกันจะเป็นโพลีเมอร์

(ภาพ ค.) เป็นสายยาวการต่อกันเป็นสามมิติเกิดขึ้นได้เมื่อมีตัวประสานคือ

Divinylbenzene

(ภาพ ง.) ทำให้ได้โครงร่างของเรซิน ซึ่งยังไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

(ภาพ จ.) การเติมหมู่ไอออน เช่น  $-\text{SO}_3\text{H}$  (ซัลโฟนิค) ทำให้ได้เรซินที่มีอำนาจ

อย่าง สมบูรณ์

### การแบ่งเรซินตามลักษณะการใช้งานตาม Functional group

คุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินจะขึ้นอยู่กับหมู่ไอออนของเรซิน สามารถแบ่งได้เป็น Acidity และ Basicity นอกจากนี้ยังแบ่งย่อยได้เป็น เรซินแบบกรดแก่ (Strong acid ion exchanger) เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid ion exchanger) เรซินแบบด่างแก่ (Strong basic ion exchanger) เรซินแบบด่างอ่อน (Weak basic ion exchanger) หมู่ไอออน ของเรซินประเภทต่างๆแสดงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เรซินแบบกรดแก่คือ พวกที่มี Functional group เป็นพวกกรดแก่ เช่น Sulphonic acid น้ำที่ของเรซินแบบกรดแก่จะใช้ไอออนบวกของตัวเอง ( $H^+$ ,  $Na^+$ ) แลกกับไอออนที่ต้องการจะกำจัดออกจากน้ำเช่น  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  เป็นต้น  $H^+$  หรือ  $Na^+$  เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ หมู่ไอออนของเรซิน โดยเรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิค ( $-SO_3$ ) เป็นหมู่ไอออนซึ่งจับติดอยู่กับโครงไฮโดรคาร์บอนหมู่ซัลโฟนิคจะอยู่ในรูปของ  $H^+$  หรือ  $Na^+$  ก็ได้ ( $-SO_3H^+$ ,  $-SO_3^-$ )  $-SO_3^-$  จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแต่มี  $H^+$  หรือ  $Na^+$  ที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ (รูปที่ 3)

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



เรซินแบบกรดแก่ สามารถที่จะจับ ไอออนบวกของ Cation ได้ทั้งหมด เมื่อเรซินหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้โดยการทำรีเจนเนอเรชันเรซิน ที่อยู่ในรูปของ  $Na^+$  ต้องรีเจนเนอเรตด้วย  $NaCl$



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




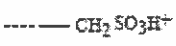
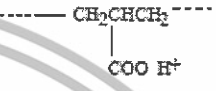






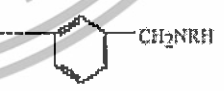
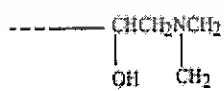

เรซินแบบกรดแก่มีข้อดี คือ

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

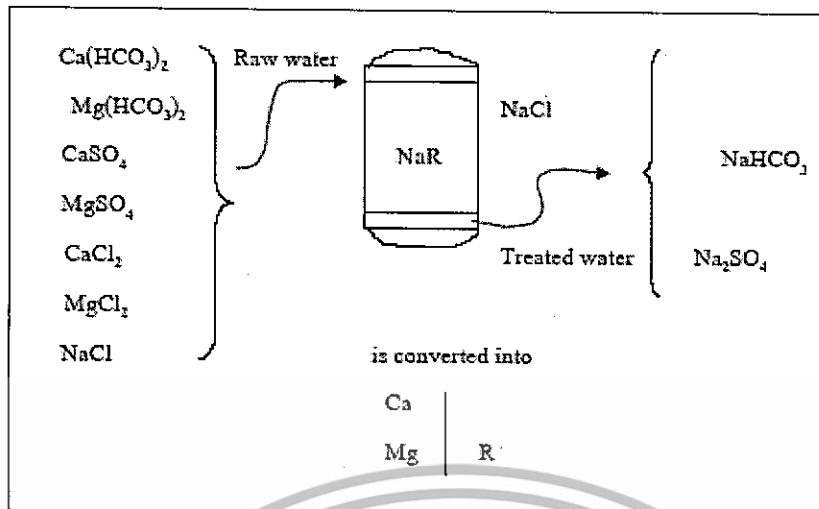
(Deminerization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่างๆ

Classification	Active Groups	Dissociation	
		Constant	Typical Configuration
		pK <sub>a</sub>	
<u>Cation Exchange Resin</u>			
Strong acid :	Sulfonic	1	
	Methylene Sulfonic	1	
Weak acid :	Carboxylic	4-6	
	Phosphonic	2-3	
	Phenolic hydroxyl	7-8	
	Phenolic hydroxyl	9-10	
<u>Anion Exchange Resin</u>			
Strong base :	Quarternary ammonium (type I)	13	
	Quarternary ammonium (type II)	13	
Weak base :	Primary amine	6-9	
	Secondary amine	7-9	
	Tertiary amine (aromatic matrix)	9-11	
	Tertiary amine (aliphatic matrix)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 3 การแลกเปลี่ยน $\text{Na}^+$ ของเรซินแบบกรดแก่กับไอออนบวกทุกตัวในน้ำ

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรตต่ำประมาณ 25-45 % ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรต
2. ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย ทำให้เรซินเกิดการบวมและมีความชื้นสูงขึ้น โดยเฉพาะเรซินที่มีระดับของการประสานโครงสร้างต่ำ

#### 2. เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid ion exchanger)

เรซินแบบกรดอ่อนคือพวกที่มี Functional group เป็นพวกกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอกซิลิก กรดอะคริลิก เรซินชนิดนี้แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดทำให้ไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนให้กับเกลือที่ได้จากกรดแก่ เช่น  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4$

การใช้งานของเรซินแบบกรดอ่อน มีข้อจำกัด คือ เมื่อพื้นกำลังเรซินด้วยกรดเกลือ เรซินชนิดนี้สามารถใช้จับไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์ 1 ขึ้นไป ที่จับคู่ (Associate) กับพวกต่างเท่านั้น ดังนั้นจำนวน Cation ที่ถูกขจัดออก ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) จะเท่ากับความสามารถลบจากค่าความเป็นด่างสำหรับกรณีที่มีความกระด้างทั้งหมดมากกว่าความเป็นด่างทั้งหมด ซึ่งจัดว่าเป็นสภาพน้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเรซินชนิดนี้

ในกรณีที่ยัตราส่วนของ Hardness: Alkalinity มากกว่า 1 แสดงว่าจะต้องมี Permanent Hardness ทำให้เรซินชนิดนี้เริ่มจะไม่ค่อยเหมาะกับการขจัดไอออนเพราะความสามารถในการจับประจุจะลดลงแต่ Cation leakage เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงไม่ค่อยเหมาะเมื่อเทียบกับเรซิน แบบกรดแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อดี คือ

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

เรซินแบบกรดอ่อนมีข้อเสีย คือ

1. เรซินใช้ได้ภายใต้สภาวะจำกัด เช่น ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชสูง
2. เรซินไม่มีความสามารถในการแยกเกลือ (Salt Splitting)
3. การเปลี่ยนรูป  $H^+$  ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า
4. เรซินมีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้าและขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำดิบ
5. เรซินเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำได้ง่ายทำให้เกิดการรั่วของไอออนที่ต้องการกำจัดออก

### 3. เรซินแบบด่างแก่ (Strong basic ion exchanger)

เรซินแบบด่างแก่มีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Quaternary Amine และไอออนอิสระมักเป็น  $Cl^-$  หรือ  $OH^-$  มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนด่างแก่หน้าของเรซินแบบด่างแก่ คือ ใช้ไอออนลบของเรซินแลกเปลี่ยนกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ , และ  $SiO_3^{2-}$

เรซินแบบด่างแก่แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Type I มีความเป็นด่างและความคงทนสูง มีความสามารถในการจับ Silica ได้ดี
2. Type II มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูง ปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนไอออนและรีเจนเนอเรชันเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับ ได้ดังนี้ คือ



สารรีเจนเนอเรนต์ อาจใช้โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

เรซินแบบด่างแก่ มีข้อดี คือ

1. ใช้ได้คักกับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. สามารถแยก  $Na^+$  จากเกลือแองได้
3. สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซินแบบกรดแก่มีข้อเสีย คือ

1. มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรตต่ำเพียง 18-33 % ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรต

2. มีความคงทนต่ำทำให้อายุการใช้งานสั้น

3. ในกรณีที่น้ำเสียนี้อาจเกิดคราบจากคาร์บอนหรือฟอสเฟต สามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำการรีเจนเนอเรตได้

4. เรซินเปลี่ยนเป็นด่างอ่อนได้ง่าย ทำให้สูญเสียขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

#### 4. เรซินแบบด่างอ่อน (Weak basic ion exchanger)

เรซินแบบด่างอ่อนมีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น Primary , Secondary หรือ Tertiary Amino และไอออนอิสระมักเป็น  $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{OH}^-$  หรือไม่มีก็ได้ การกำจัดไอออนลบของเรซินนี้จะแตกต่างจากเรซินอีก 3 ประเภทเนื่องจากไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินชนิดนี้ กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น  $\text{CO}_2$  ,  $\text{SiO}_2$  เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซินเนื่องจากเรซินแบบด่างอ่อนไม่จำเป็นต้องมีไอออนอิสระก็ได้ ดังนั้นกลไกการทำงานของมักใช้ในการกำจัด  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$

ข้อดีของเรซินแบบด่างอ่อน คือ

1. มีประสิทธิภาพในการทำการรีเจนเนอเรตสูงเกือบ 100 %
2. ทนต่อกรดชีวมีค มีประสิทธิภาพการกำจัดไอออนสูง
3. สารรีเจนเนอเรต อาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

ข้อเสียของเรซินแบบด่างอ่อน คือ

1. มีอัตราการแลกเปลี่ยนไอออนช้า

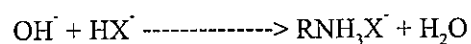
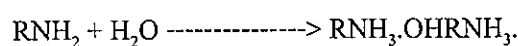
2. ใช้ได้กับน้ำที่มีพีเอชต่ำเท่านั้น

ปฏิกิริยาในการจับโมเลกุลของกรดแก่เป็นดังนี้



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

ปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นดังนี้



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน (Selectivity)

เรซินทั้งแบบกรดและด่างมีความชอบไม่เท่ากันในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินพบว่า เรซินที่จะชอบทำปฏิกิริยากับ ไอออนบางชนิดมากกว่าชนิดอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของไอออนนั้นๆ ในสารละลาย นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนไอออนยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเรซิน เช่น ขนาดของเรซิน (Degree of cross – linking) ชนิดของ Functional group และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

ความสัมพันธ์ระหว่างไอออนกับการเลือกจับไอออนของเรซิน

1. เรซินสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีวาเลนซ์สูง ได้ดีกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออน (ตารางที่ 2)
2. สำหรับไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากัน ไอออนที่มีน้ำหนักรวมสูงกว่าสามารถ แลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่าไอออนที่มีน้ำหนักรวมต่ำ เช่น  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Be^{2+}$  หรือ  $K^+ > Na^+ > Li^+$
3. เรซินมี Degree of crosslinking สูงความสามารถในการเลือกจับไอออนจะมีมากกว่าเรซินที่มี Degree of crosslinking ต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of crosslinking กับการเลือกจับ ไอออน (ตารางที่ 3)

### คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน

เพื่อให้มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ต้องมีไอออนอิสระ ที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนในน้ำได้
2. ต้องไม่ละลายน้ำ

ต้องมีช่องว่างภายในโครงไฮโดรคาร์บอนอย่างพอเพียง เพื่อให้ ไอออนต่างๆเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกได้อย่างสะดวก

ตารางที่ 2 ลำดับความชอบไอออนของเรซินในน้ำที่มีสารละลายน้ำ 1,000 mg/L

ไอออนบวก	ไอออนลบ	ลำดับความชอบ
$\text{Fe}^{3+}$	$\text{CRO}^{2-}$	มากที่สุด ↑ น้อยที่สุด
$\text{Al}^{3+}$ $\text{Ba}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	
$\text{Pb}^{2+}$	$\text{SO}_3^{2-}$	
$\text{Ba}^{2+}$	$\text{HPO}_4^{2-}$	
$\text{Sr}^{2+}$	$\text{CNS}^-$	
$\text{Cd}^{2+}$	$\text{CNO}^-$	
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$	
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{NO}_2^-$	
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Br}^-$	
$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{CN}^-$	
$\text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$	
$\text{K}^+$	$\text{HSiO}_3^-$	
$\text{NH}_4^+$	$\text{OH}^-$	
$\text{Ba}^{2+}$	$\text{F}^-$	
$\text{H}^+$		
$\text{Li}^+$		
$\text{K}^+$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Crosslinking กับการเลือกจับไอออนของ  
Cation exchange resin

ION	% Divinylbenzene		
	4	8	12
Monovalent Cations			
H	1.0	1.0	1.0
Li	0.9	0.85	0.81
Na	1.3	1.5	1.7
NH <sub>4</sub>	1.6	1.95	2.3
K	1.75	2.5	3.05
Rb	1.90	2.6	3.1
Cs	2.0	2.7	3.2
Cu	3.2	5.3	9.5
Ag	6.0	7.6	12.0
Divalent Cations			
Mn	2.2	2.35	2.5
Mg	2.4	2.5	2.6
Fe	2.4	2.55	2.7
Zn	2.6	2.7	2.8
Co	2.65	2.8	2.9
Cu	2.7	2.9	3.1
Cd	2.8	2.95	3.3
Ni	2.85	3.0	3.1
Ca	3.4	3.9	4.6
Sr	3.85	4.95	6.25
Hg	5.1	7.2	9.7
Pb	5.4	7.5	10.1
Ba	6.15	8.7	11.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแบ่งการทำงานได้ 3 วิธี คือ

1. การทำงานแบบทีละเท (Batch Operation) เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่ง่ายที่สุด น้ำเสียจะถูกกวนผสมกับเรซินในถังปฏิกริยา จากนั้นการทำงานแยกเรซินออกโดยการกรองหรือตกตะกอน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะขึ้นอยู่กับ ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constant) ของระบบแลกเปลี่ยนไอออน
2. การทำงานแบบคอลัมน์ (Column Operation) วิธีการนี้จะใช้ในการศึกษาขั้นห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและสภาวะที่เหมาะสม ขนาดของคอลัมน์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความสูงอยู่ในช่วง 1:10 – 1:20
3. การทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) เป็นการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุในถังและปล่อยน้ำทิ้งไหลผ่านชั้นเรซินอย่างต่อเนื่อง ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดเวลา เมื่อใช้งานไปนานๆเรซินจะหมดประสิทธิภาพ (Exhausted Resin) ต้องทำการฟื้นฟูประสิทธิภาพโดยใช้สารละลายกรดหรือด่างขึ้นอยู่กับ ชนิดของเรซินที่ใช้

### สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

โครงสร้างของเซลลูโลสในธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน การสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทำโดยการใส่ปฏิกริยาออกซิเดชันเซลลูโลสผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลสและหมู่คาร์บอกซิล 15 % มีลักษณะเป็นผง ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกับเรซินสังเคราะห์แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็นไฮโดรฟิลิก แต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็น ไฮโดรโฟบิก เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นไฟเบอร์การยึดเกาะกันของโครงร่างตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ไอออนอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงร่างตาข่ายซึ่งมีระยะประมาณ 50 Å

ดังนั้นไอออนที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งไม่สามารถผ่านเรซินแบบสังเคราะห์ได้ จะสามารถผ่านสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

จากลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลสพบว่าโมเลกุลของเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีหมู่ไอออนมาเกาะอยู่ การจับยึดตำแหน่งที่แน่นอนทำได้ยาก แต่จากการศึกษาทางเคมีของเซลลูโลสพบว่าคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 และ 6 เป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกริยามากที่สุด สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีขนาดประมาณ 15-20 ไมโครเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ โครงร่างของเซลลูโลสและองค์ประกอบอื่นๆ แต่จะไม่มีผลต่อสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออน การปรับปรุงลักษณะของโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันในเซลลูโลสสามารถทำได้โดยใช้ กระบวนการทางเคมี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและความสามารถในการแลกเปลี่ยน ไอออนให้สูงขึ้น

การเก็บสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำโดยการแช่ในสารละลาย  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  เข้มข้น 0.5 โมลาร์และแช่ในสารละลาย  $\text{NaOH}$  เข้มข้น 1 นอร์มัล ซึ่งจะสามารถเก็บไว้ได้นานหลายเดือนควร หลีกเลี่ยงไม่ให้มีการสัมผัสกับสารละลายที่มีความเป็นกรดสูง (พีเอชต่ำกว่า 4) ในการทำรีเจนเนอเรชันจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มัลหรือบัฟเฟอร์กรดหรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ในช่วง 0.25 – 1 meq/g dry.weight

ในการเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ปฏิกริยามักประกอบด้วย การเปลี่ยน Alkali cellulose ด้วยสารประกอบคลอรีน ข้อเสียของปฏิกริยานี้ จะทำให้เกิดการละลายและการแพร่กระจายของวัสดุถึงแม้ว่าจะมีการทำให้ตกตะกอนอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะนุ่มคล้ายวุ้น (Gel like Product) ซึ่งจะมีความต้านทานการไหลของสารละลายสูงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการลดการพองน้ำของเรซินสามารถทำได้โดยการ Crosslinking ของ ในสายของเซลลูโลส ด้วย di-(2-ethylamine) Sulfate, 1,4-butanedisulfate, 1,3 dichoro-2- propanol, divinyl sulfone และ formaldehyde ก่อนการเติมหมู่ไอออน dichoroacetic acid เป็น Cross linking agent ที่เป็นตัวบอก exchange group

Serva – Cellulose ion exchanger เป็นสารเซลลูโลสชนิดแรกที่เกิดขึ้นในเชิงอุตสาหกรรม และมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ประกอบด้วยสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนแบบกรดและแบบด่างคุณสมบัติที่สำคัญของ Serva – Cellulose ion exchanger

## 2.7 Atomic Absorption Spesctrophotometry [7]

เทคนิคทาง AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งเพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยงความแม่นยำ สภาพไวสูงและเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ก็ไม่สูงนัก ดังนั้นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ทันสมัยโยทั่วไปจะมีเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์อยู่ด้วยเสมอ ความสามารถของเทคนิคนี้สูงมากเพราะสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ถึง 67 ธาตุ ซึ่งนับว่ามากพอสมควรสำหรับเครื่องมือเพียงอย่างเดียว ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

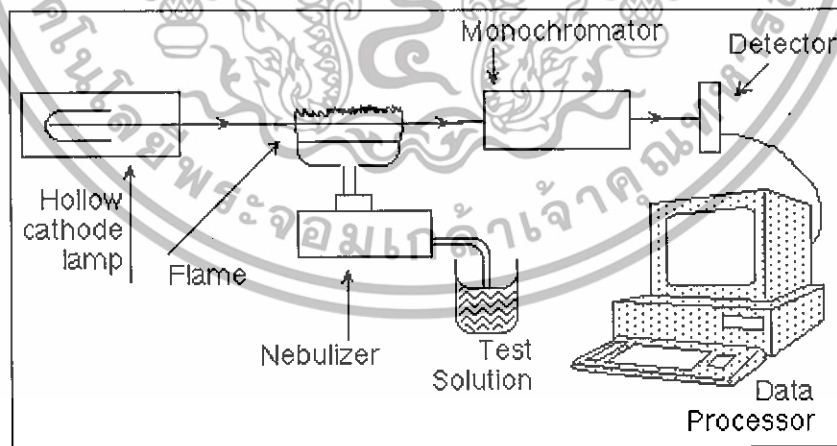
### หลักการของเครื่อง AAS

อะตอมมิคแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น โดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานต่างกัน ความยาวคลื่นจัดเป็น spectroscopic line ของอะตอมมิคสเปกตรัมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่างๆเช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวหรือเปลี่ยนให้เป็นไอหรืออาจแตกตัวเป็นอะตอมหรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้นหรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

### องค์ประกอบของเครื่อง

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) เป็น Hollow cathode lamps (HCL) ของแต่ละธาตุที่ทำการวิเคราะห์
2. Atomizer กระบวนการทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ
3. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) ซึ่งใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ
4. ดีเทคเตอร์ (Detector)
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (data system and read-out units)



รูปที่ 4 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย AAS

1. ใช้ **Flame Atomization Technique** เป็นเทคนิคที่ใช้กระบวนการทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสมสารตัวอย่างต้องเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ กระบวนการ atomization นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน

1.1 Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ (mist) ด้วยเครื่องที่เรียกว่า Nebulizer

1.2 Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆของสารละลายรวมกันเป็นหยดสารละลายโต ไม่สามารถจะลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง (drain)

1.3 Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (fuel) และออกซิเจนใน spray chamber ของ nebulizer

1.4 Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็กๆของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ

1.5 Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์เป็น โมเลกุลและเป็นอะตอมอิสระ บางครั้งอาจเกิดการกระตุ้นหรือเกิดการ ไอออไนเซชันต่อไปได้

ในกระบวนการ Atomization สามารถใช้โปรแกรมได้ทั้งอุณหภูมิและเวลา คือ

1. Drying stage เป็นขั้นตอนที่สารตัวอย่างจะค่อยๆถูกให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายให้ออกไปก่อน โดยปกติจะใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า)

2. Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้นอาจถึง  $1,500^{\circ}\text{C}$  เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยโมเลกุลของสารเหล่านี้จะแตกสลายออกไปเหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่านั้น โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปโลหะออกไซด์

3. Atomization stage เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่สารที่เหลือถูกเผาที่อุณหภูมิสูงอาจถึง  $3,000^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้สลายเป็นอะตอมอิสระเกิดขึ้นในช่องทางที่แสงผ่านซึ่งสามารถวัดสัญญาณของการดูดกลืนแสงได้ออกมาเป็นพีคแหลม (sharp peak) และความสูงของพีคจะเป็นปฏิกิริยากับปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างนั้น

ในการวัดค่าแอบซอร์เบ้นซ์ของธาตุในตัวอย่างโดยใช้เทคนิค flameless atomization นี้เป็นการวัดที่เรียกว่าการวัดครั้งเดียว (single measurement) นั่นคือเราใช้สารตัวอย่างปริมาตรแน่นอน (fixed volume) ซึ่งอาจเป็น 25  $\mu\text{L}$  หรือ 50  $\mu\text{L}$  เป็นต้น ซึ่งผิดกับการวิเคราะห์โดย flame atomization ที่เราใช้สารละลายผ่านเข้าไปในเปลวไฟอย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาหนึ่งที่ทำกรวัด ดังนั้น ในการตัดสินใจที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเลือกวิธีวิเคราะห์นี้จะต้องคำนึงถึงเรื่องของความถูกต้อง(accuracy)และความแม่นยำ(precisionหรือ reproducibility)เป็นอย่างมาก เพราะมีแฟกเตอร์หลายอย่างที่อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณน้อยมากๆ เทคนิคก็มีสภาพไวสูง ข้อที่ควรจะต้องคำนึงถึงเสมอก็คือ

1. จะต้องทำงานด้วยความระมัดระวัง ตลอดจนการใช้เครื่อง
2. การเตรียมสารตัวอย่างทุกขั้นตอนต้องระมัดระวังอย่างมาก เพราะมีโอกาสที่สารตัวอย่างจะหายไปหรือเกิดการปนเปื้อนได้
3. ห้องปฏิบัติการที่ใช้ทำการวิเคราะห์ควรจะต้องสะอาดมากๆ
4. อุปกรณ์ที่ใช้ เช่น เครื่องแก้ว บีเปตต์ ที่จะต้องมาสัมผัสกับสารตัวอย่างจะต้องสะอาด และ blank level ไม่ควรเกิน 10% ของเครื่องที่จะวัดตัวอย่าง
5. สารเคมีที่จะใช้ตามขั้นตอนต่างๆของกระบวนการทางเคมีควรจะต้องเป็นเกรดที่บริสุทธิ์มากๆ มิฉะนั้นผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาดมากเพราะสารเคมีที่เติมลงไปมีมากกว่าในสารตัวอย่างเสียอีก

6. Read out system หรือ recorder จะต้องไวพอที่จะวัดสัญญาณได้

2. ใช้ **Flameless Technique** หรือ **Non-flame Atomization Technique** ซึ่งเทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (GFAAS) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆกันและใช้เวลาต่างกันได้

3. ใช้ **Hydride Generation Technique** เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิคข้างต้นไม่ได้ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจนความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ของธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb

4. ใช้ **Cold Vapor Generation Technique** สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้วิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆซึ่ง ได้แก่ การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะ

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

O. Dalman และ คณะ [8] ศึกษาการหาปริมาณโลหะหนัก (Cd, Pb) และธาตุจำวนหนัก (Cu, Zn) ในตะกอนและปลาทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลเอเจียน(ตุรกี)โดยอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมทรี เนื่องจากอ่าวGullukในตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลเอเจียน(ตุรกี)มีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัญทางด้านผลิตภัณฑ์ทางทะเลและยัง ในสถานการณ์ปัจจุบันของอ่าวมีธาตุหลายชนิดที่เป็นอันตราย และมีผลกระทบต่อมลพิษซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญมาก *Dicentrarchus labrax* ใช้สำหรับการบริโภคของมนุษย์ จากการศึกษาโลหะหนัก (Cd, Pb) และธาตุจำนวนหนึ่ง (Cu, Zn) ซึ่งทำการทดสอบในปลา (*D. Labrax*) และตะกอนในอ่าว Gulluk ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ความเข้มข้นโลหะหนักโดยเฉลี่ยในปลาจะอยู่ในช่วง: Pb; <0.02–0.4, Cd; <0.01–0.04, Cu; <0.1, Zn; <0.5–7.2 mg/kg เมื่อนำตะกอนเจ็ดตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยดังนี้ Zn;  $80.8 \pm 0.45$ , Cu;  $25.2 \pm 0.14$ , Pb;  $20.0 \pm 2$ , Cd;  $0.560 \pm .08$  mg/kg ค่าความถูกต้องและความเที่ยงของผลจะตรวจเช็คโดยใช้ International Certified Reference samples

A. Dabrowski และ คณะ [9] ศึกษาการกำจัดไอออนโลหะหนักจากแม่น้ำและน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน ไอออนที่ไม่ต้องการจะถูกแทนที่ด้วยไอออนตัวอื่นที่ไม่ใช่สารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม วิธีนี้เป็นเทคนิคที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากสารละลายตัวอย่างการกำจัดไอออนโลหะหนักด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนนี้ประกอบด้วย การกำจัด Pb(II), Hg(II), Cd(II), Ni(II), V(IV,V), Cr(III,VI), Cu(II) และ Zn(II) จากแม่น้ำและน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน

C. Nascentes และ คณะ [10] ศึกษาการตรวจวัดโลหะในเบียร์ Cu, Mn, Pb และ Zn โดย Thermospray flame furnace atomic absorption spectrometry (TS-FF-AAS) และไม่มี digest ตัวอย่าง ใช้เทคนิคการเติมสารมาตรฐานที่มีลักษณะเหมือน analyte ปริมาตรสารตัวอย่าง 300  $\mu$ l ฉีดเข้าไปใน Ni tube ที่ร้อน flow rate 0.4 ml/min ใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.04 mol / l หรือใช้อากาศเป็นตัวพา เบียร์ของบราซิลจะวิเคราะห์โดยตรงหลังจากเอาก๊าซออกโดย ultrasonic เปรียบเทียบ ผลกับวิธี GFAAS ข้อจำกัดของการตรวจวัดสำหรับ Cu, Mn, Pb และ Zn เป็น 2.2, 1.8, 1.6 และ 0.9  $\mu$ g / l ตามลำดับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 2.7% - 7.3% (n=8) สำหรับสารละลายตัวอย่างช่วง 25-50  $\mu$ g / l ความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่าง Cu มี 38-155  $\mu$ g / l Mn มี 110-348  $\mu$ g / l Pb มี 13-32.9  $\mu$ g / l และ Zn มี 52.7-226  $\mu$ g / l

ผลจากการวิเคราะห์โดยวิธี TS-FF-AAS และ GFAAS พิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % วิธีดังที่กล่าวมานี้ ง่ายและรวดเร็ว ตั้งแต่การย่อยตัวอย่าง มีสภาพไวสูง ใช้อุปกรณ์ไม่มีราคาแพง TS-FF-AAS มีสภาพความไวสำหรับตรวจวัด Cu Mn Pb และ Zn ใช้ควบคุมคุณภาพของโรงงานผลิตแอลกอฮอล์

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
2. กรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 95-97% ชนิดเกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
3. ฟอर्मัลดีไฮด์ ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) 37% ของ ITALMAR (THAILAND) CO.LTD

##### อุปกรณ์

- |                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 1. บีกเกอร์              | 2. ปิเปต            |
| 3. ลูกยางแดง             | 4. ขวดวัดปริมาตร    |
| 5. กรวยแก้ว              | 6. หลอดหยด          |
| 7. แท่งแก้วคน            | 8. ข้อนตักสาร       |
| 9. กระจกบดวาง            | 10. stand และที่จับ |
| 11. ตระแกรง ขนาด 80 mesh |                     |

##### เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น AA-680 ยี่ห้อ shimadzu
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. กระจกบดฉีดขนาด(syringe) 10 ml
4. เครื่องบด
5. ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การเตรียมเส้นใยอ้อย

1. นำชานอ้อยที่คั้นน้ำแล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาด
2. แช่วน้ำที่ปราศจากไอออน นำแปรงสีฟันมาขัดชานอ้อยได้เส้นใยที่ปราศจากขุย
3. แยกเอาเส้นใยอ้อยออกจากส่วนที่เป็นขุย
4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. เมื่อครบกำหนดนำมาบดด้วยเครื่องบด ให้ละเอียด
6. นำมาแยกด้วยตระแกรงร่อนขนาด 80 mesh

### 3.3 การเตรียมสารละลาย stock ทองแดงเข้มข้น 1000 mg/L (ppm)

1. ชั่ง  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  มา 3.9305 g ใส่ปิเปตอร์ขนาด 100 ml
2. มาละลายน้ำเล็กน้อย ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

### 3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักด้วยเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยอ้อยประมาณ 0.5 g ใส่ใน syringe ขนาด 10 ml ที่ใช้แทนคอลัมน์
2. นำน้ำปริมาณ 50 ml ผ่านลงในคอลัมน์ ทำให้เส้นใยอ้อยแน่นขึ้น
3. เตรียมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm โดยปิเปตสารละลายทองแดง 100 ppm มา 2.5 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. นำสารละลายทองแดง 5 ppm ที่เตรียมได้ มา elute ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเส้นใยอ้อย
5. เก็บสารละลายที่ถูก elute นำ น้ำที่ปราศจากไอออน ปริมาตร 50 ml มา elute ผ่านคอลัมน์ เก็บสารละลายไว้ นำไปตรวจวัดหาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS
6. ทำซ้ำข้อ 3-5 ใหม่อีก 4 ครั้ง
7. ทำซ้ำอีกคอลัมน์ โดยทำแบบข้างต้น

#### 3.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆและศึกษา

##### การชะโลหะหนักออกจากเส้นใยอ้อย

1. เตรียมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm โดยปิเปตสารละลายทองแดง 100 ppm มา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลาร์
3. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพ โดยนำเส้นใยอ้อยมาใส่ในฟอรัมต์ดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(CH<sub>2</sub>O) 37% และสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน อ้อย :CH<sub>2</sub>O :H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เท่ากับ 5 :12 :40

4. กวนนาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 °C
5. นำวัสดุที่เตรียมได้มาล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน จนพีเอชประมาณ 4-5
6. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพใหม่ โดยทำในอัตราส่วน 10 :60 :200 และ 15 :60 :200
7. ชั่งน้ำหนักเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ปรับสภาพในอัตราส่วน 5 :12 :40 มาประมาณ 0.5 กรัม ชั่งซ้ำอีก 2 ครั้ง ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 คอลัมน์
8. นำน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร elute ผ่านลงในคอลัมน์ทั้งสามเพื่ออัดให้แน่น
9. ผ่านสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมไว้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ทั้งสามที่บรรจุเรซินที่ปรับสภาพ เก็บสารละลายทองแดงที่ถูก elute ออกมา
10. คอลัมน์ที่ หนึ่ง, สองและสามอีลิวต์ด้วย น้ำที่ปราศจากไอออน สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลาร์ คอลัมน์ละ 50 มิลลิลิตรตามลำดับ เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ทั้งสามไว้
11. นำสารละลายที่ถูกอีลิวต์ทั้งหมดนำไปตรวจหาปริมาณทองแดงเทียบกับกราฟมาตรฐานของคอปเปอร์ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm ที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมทรี
12. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 7-11 โดยเปลี่ยนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็น 10 :60 :200 และ 15 :60 :200

### 3.4.3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับและการชะของเส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ

1. เตรียมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm โดยปีเปตสารละลายทองแดง 100 ppm มา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลาร์
3. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพ โดยนำเส้นใยอ้อยมาใส่ในฟอร์มัลดีไฮด์ (CH<sub>2</sub>O) 37% และสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน อ้อย :CH<sub>2</sub>O :H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เท่ากับ 5 :12 :40
4. กวนนาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 °C
5. นำวัสดุที่เตรียมได้มาล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน จนพีเอชประมาณ 4-5
6. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพใหม่ โดยทำในอัตราส่วน 10 :60 :200 และ 15 :60 :200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ชั่งน้ำหนักเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ปรับสภาพในอัตราส่วน 5 :12 :40 มาประมาณ 0.5 กรัม ชั่งซ้ำอีก 2 ครั้ง ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 คอลัมน์

8. นำน้ำที่ปราศจากไอออนปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีลู่ผ่านลงในคอลัมน์ทั้งสามเพื่ออัดให้แน่น

9. ผ่านสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมไว้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ทั้งสาม เก็บสารละลายทองแดงที่ถูกอีลู่ออกมา

10. จากนั้นคอลัมน์ที่ หนึ่ง, สองและสามอีลู่ด้วย น้ำที่ปราศจากไอออน สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลาร์ คอลัมน์ละ 10 มิลลิลิตรตามลำดับ เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ไว้ และแต่ละคอลัมน์จะทำการชะด้วยสารละลายทองแดง 5 ppm สลับกับสารที่จะนำมาชะทีละ 10 มิลลิลิตร จนครบ 50 มิลลิลิตร

11. นำสารละลายที่ถูกอีลู่ทั้งหมดนำไปตรวจหาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิค แอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมทรี

12. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 7-11 โดยเปลี่ยนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็น 10 :60 :200 ,15 :60 :200 และเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ ตามลำดับ

#### 3.4.4 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับและการชะโลหะหนักของเส้นใยอ้อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลาร์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ

1. เตรียมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm โดยเปิดสารละลายทองแดง 100 ppm มา 2.5 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลาร์

3. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพ โดยนำเส้นใยอ้อยมาใส่ในฟอร์มัลดีไฮด์ ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) 37% และสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน อ้อย : $\text{CH}_2\text{O}$  : $\text{H}_2\text{SO}_4$  เท่ากับ 5 :12 :40

4. กวนนาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ  $50^\circ\text{C}$

5. นำวัสดุที่เตรียมได้มาล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน จนพีเอชประมาณ 4-5

6. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพใหม่ โดยทำในอัตราส่วน 10 :60 :200 และ 15 :60 :200

7. ชั่งน้ำหนักเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ปรับสภาพในอัตราส่วน 5 :12 :40 มาประมาณ 0.5 กรัม ชั่งซ้ำอีกครั้งใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 คอลัมน์

8. นำน้ำที่ปราศจากไอออนปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีลู่ผ่านลงในคอลัมน์ทั้งสองเพื่ออัดให้แน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ผ่านสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมไว้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ทั้งสองเก็บสารละลาย ทองแดงที่ถูกอีลูทออกมา

10. จากนั้นคอลัมน์ที่ หนึ่งและสองอีลูทด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลาร์ คอลัมน์ละ 10 มิลลิลิตร 5 ครั้ง เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์

11. นำสารละลายที่ถูกอีลูททั้งหมดนำไปตรวจหาปริมาณทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิก แอปซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมทรี

12. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 7-12 โดยเปลี่ยนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็น 10 :60 :200 ,15 :60 :200 และเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยและการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยอ้อยด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆกัน โดยทำการศึกษาในสภาวะที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วน 5:12:40, 10:60:200, และ 15:60:200 ได้ผลการทดลองดังนี้

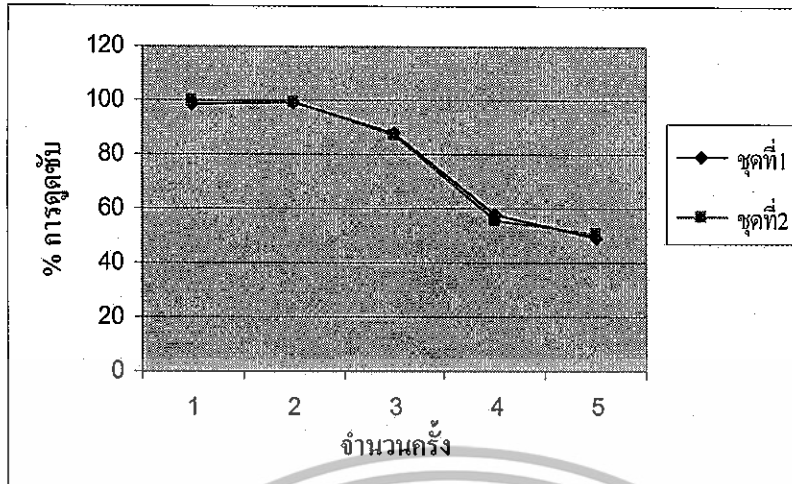
#### 4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักด้วยเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ

จากการทดลองใช้เส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพผ่านตัวอย่างที่มีโลหะทองแดงผสมอยู่ เก็บสารละลาย จากนั้นนำน้ำปราศจากไอออนมาผ่าน เก็บสารละลายไว้ ทำซ้ำ 4 ครั้ง แล้วทำเช่นเดียวกันอีกหนึ่งคอลัมน์ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1.1, 4.1.2

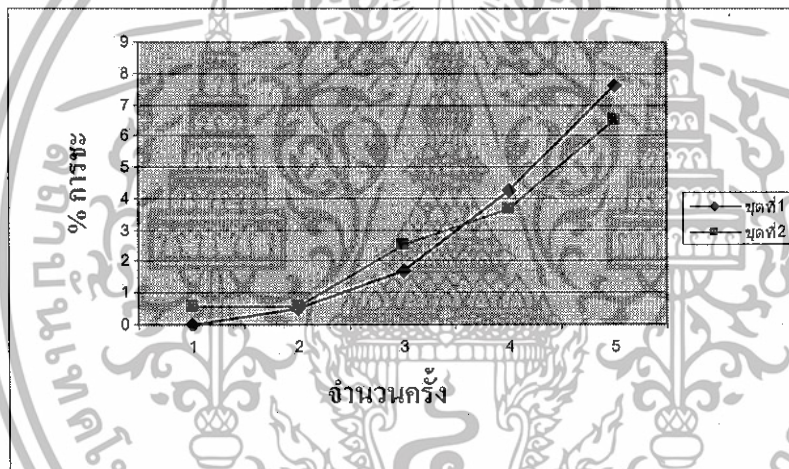
ตารางที่ 4.1 ผลการดูดซับโลหะหนักด้วยเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ

ชุดที่	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5	
	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ
1	98.70	0.00	99.20	0.48	87.54	1.74	57.78	4.27	49.04	7.62
2	99.72	0.60	99.06	0.96	87.04	2.52	55.56	3.68	50.56	6.50
3	0.30	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ชุดที่ 1, 2 เป็นเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ นำไปชะด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนและชุดที่ 3 เป็นสำลีเปล่า



รูปที่ 4.1.1 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะทองแดง



รูปที่ 4.1.2 เปอร์เซนต์การชะโลหะทองแดง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1.1, 4.1.2 สรุปได้ว่าการดูดซับครั้งแรกจะมีเปอร์เซนต์การดูดซับมากที่สุดและจะลดลงเมื่อทำการชะหลายๆครั้งในคอลัมน์เดียวกัน แต่เปอร์เซนต์การชะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และศึกษา การชะโลหะหนักออกจากเส้นใยอ้อย

จากการทดลองใช้เส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วน 5:12:40, 10:60:200, และ 15:60:200 ชะโลหะทองแดงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลาร์ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เจือจางด้วยน้ำกลั่น ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2.1, 4.2.2

ตารางที่ 4.2 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะโลหะหนักออกจากเส้นใยอ้อย

ชุดที่	H <sub>2</sub> O (คอลัมน์ 1)		0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์ 2)		0.5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์ 3)	
	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ
1	99.21	0.30	98.24	135.94	98.34	103.13
2	99.50	122.11	99.58	133.49	99.10	1.76
3	96.50	1.33	98.72	102.32	97.78	94.18
4	97.38	3.06	97.06	98.36	97.16	91.56

หมายเหตุ 1. ชุดที่ 1 เป็นเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ

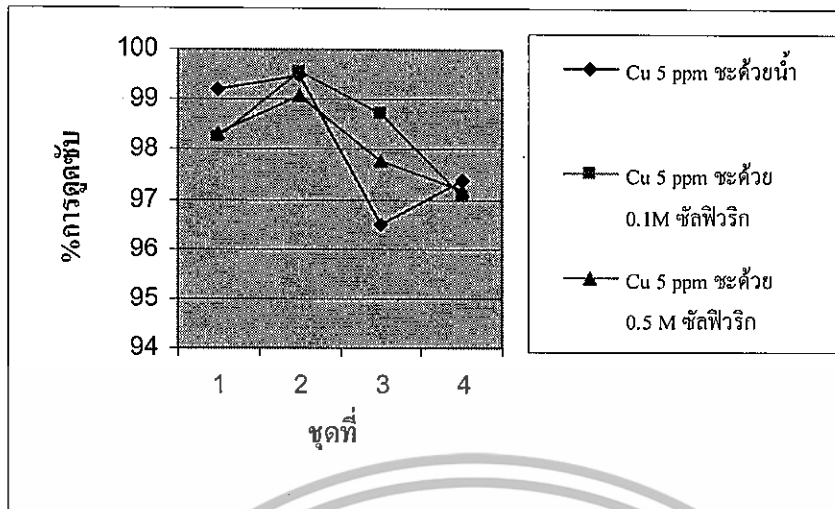
ชุดที่ 2 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 5:12:40

ชุดที่ 3 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 10:60:200

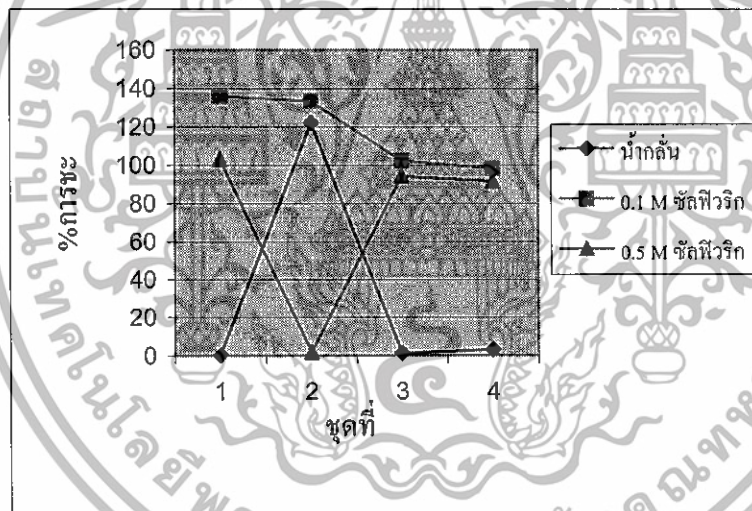
ชุดที่ 4 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 15:60:200

2. ใช้กราฟมาตรฐานที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับ โลหะทองแดง



รูปที่ 4.2.2 เปอร์เซ็นต์การชะ โลหะทองแดง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2.1, 4.2.2 เมื่อเปรียบเทียบทั้งสี่คอลัมน์ เปอร์เซ็นต์การดูดซับของเส้นใยชื้อยที่ปรับสภาพในอัตราส่วน 5:12:40 มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับและการชะของเส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ

จากการทดลองใช้เส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วน 5:12:40, 10:60:200, และ 15:60:200 ทั้งหมดมี 4 ชุด ชุดละ 3 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ผ่านตัวอย่างที่มีโลหะทองแดง 5 ppm 10 มิลลิลิตรทุกคอลัมน์ คอลัมน์ที่ 1 ชะด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน คอลัมน์ที่ 2 ชะด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์ คอลัมน์ที่ 3 ชะด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในปริมาตรที่เท่ากันคือ 10 มิลลิลิตร โดยในแต่ละคอลัมน์จะทำการชะด้วยสารละลายทองแดง 5 ppm สลับกับสารที่จะนำมาชะทีละ 10 มิลลิลิตร จนครบ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเทียบกราฟมาตรฐานของน้ำที่ปราศจากไอออนและสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 ,0.1 โมลาร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3.1- 4.3.4

ตารางที่ 4.3 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะโลหะหนักออกจากเส้นใยอ้อย

ชุด	H <sub>2</sub> O (คอลัมน์1)		0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์2)		0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์3)	
	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ
1	98.66	0.81	99.66	52.94	98.12	49.42
	99.65	0.36	79.90	64.26	84.85	10.07
	99.77	0.20	98.53	71.01	91.54	8.16
	99.85	0.18	92.54	66.36	90.87	8.89
	99.84	0.13	93.36	52.38	91.69	8.96
2	93.62	1.34	99.32	49.39	97.10	53.84
	99.07	0.41	90.75	43.58	56.54	39.45
	99.52	0.35	95.42	40.40	71.27	28.03
	99.71	0.28	97.10	35.34	78.69	22.74
	99.77	0.23	96.44	37.04	82.21	21.02
3	98.98	1.11	98.18	34.53	96.24	40.84
	99.35	0.84	78.68	22.00	84.82	47.64
	99.50	0.36	95.77	25.59	86.72	34.53
	99.70	0.31	96.79	21.00	88.19	27.57
	99.77	0.27	98.30	19.54	96.63	18.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะ โลหะหนัก  
ออกจากเส้นใยอ้อย (ต่อ)

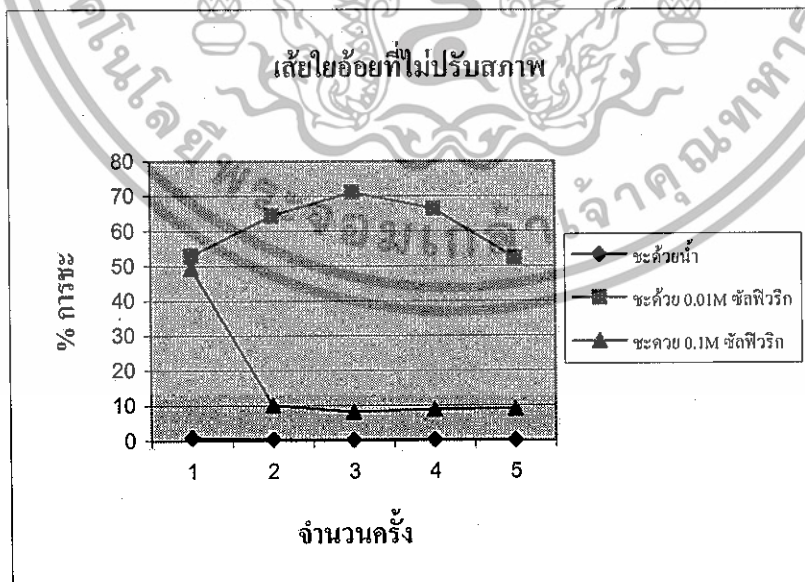
ชุด	H <sub>2</sub> O (คอลัมน์1)		0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์2)		0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์3)	
	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ	% ดูดซับ	% ชะ
4	98.62	1.35	98.44	30.72	96.40	23.69
	99.34	0.65	86.90	31.84	79.48	24.20
	99.57	0.46	95.72	23.43	93.41	20.91
	99.70	0.34	96.68	16.17	95.61	15.99
	99.70	0.25	97.32	14.39	96.26	13.37

หมายเหตุ ชุดที่ 1 เป็นเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ

ชุดที่ 2 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 5:12:40

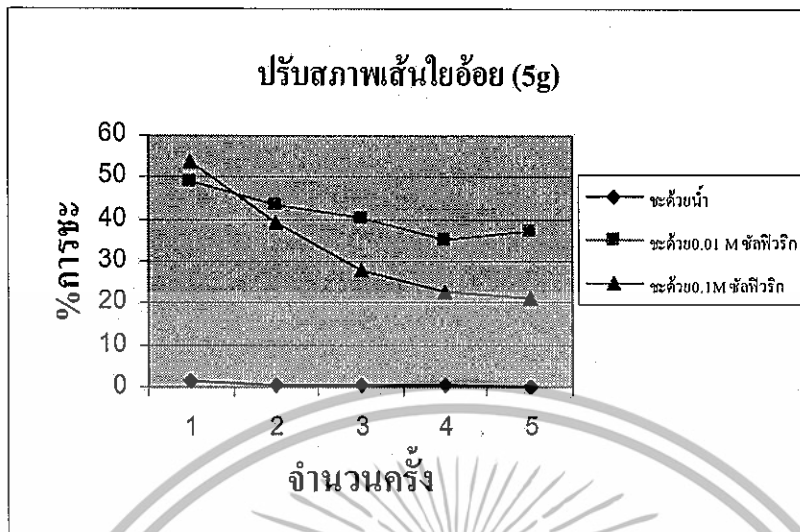
ชุดที่ 3 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 10:60:200

ชุดที่ 4 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 15:60:200

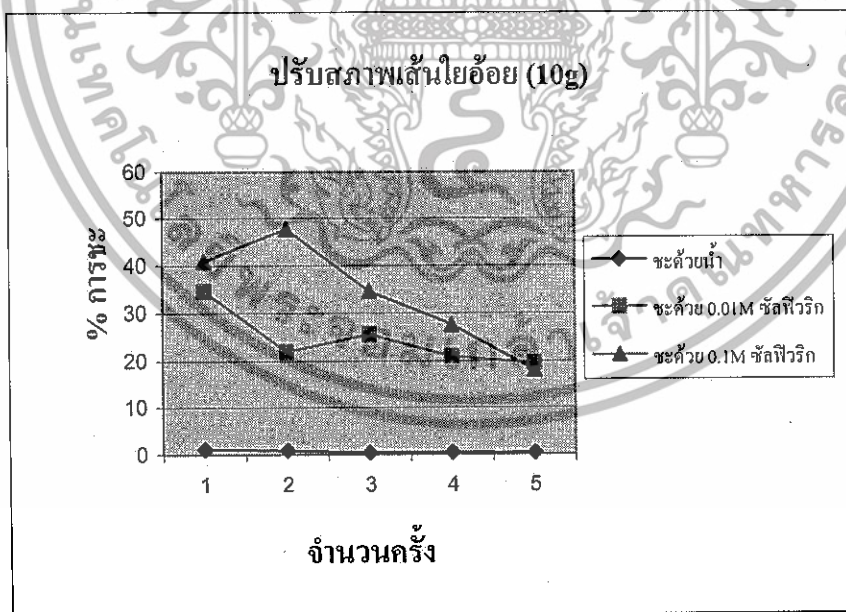


รูปที่ 4.3.1 เปอร์เซนต์การชะ โลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

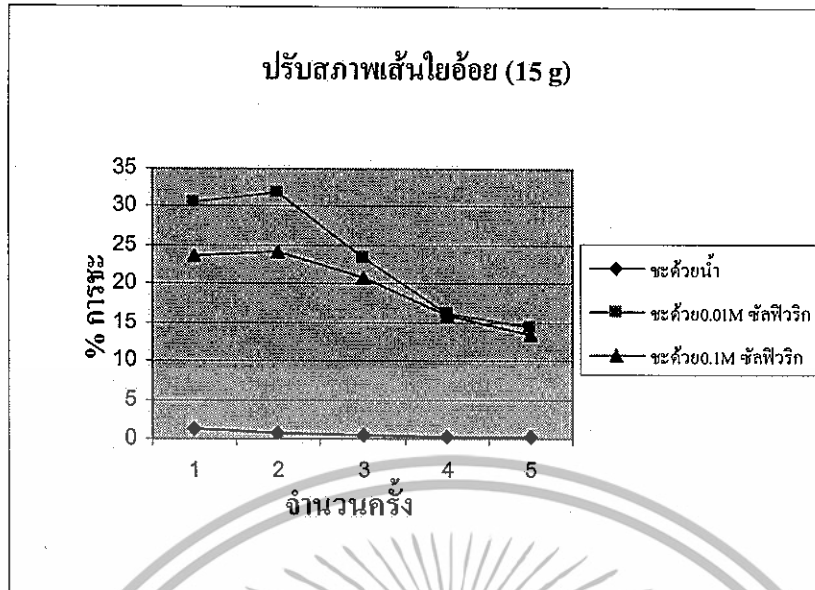


รูปที่ 4.3.2 เปอร์เซ็นต์การชะ โลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 5:12:40



รูปที่ 4.3.3 เปอร์เซ็นต์การชะ โลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 10:60:200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.4 เเปอร์เซ็นต์การชะโลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 15:60:200

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3.1-4.3.4 สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของเส้นใยอ้อยจะดูดซับโลหะทองแดงได้ใกล้เคียงกัน ส่วนประสิทธิภาพการชะโลหะทองแดงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์จะดีกว่า 0.1 โมลาร์ แต่น้ำไม่มีประสิทธิภาพในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยอ้อย

#### 4.4 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับและการชะโลหะหนักของเส้นใยอ้อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลาร์ ในอัตราส่วนต่างๆ

จากการทดลองใช้เส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วน 5:12:40, 10:60:200, และ 15:60:200 ทั้งหมดมี 4 ชุด ชุดละ 2 คอลัมน์ แต่ละชุดผ่านตัวอย่างที่มีโลหะทองแดงผสมอยู่ 50 มิลลิกรัม เก็บสารละลายแล้วคอลัมน์ที่ 1 ชะด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์ 10 มิลลิกรัม ชะ 5 ครั้งแต่ละครั้งเก็บสารละลาย คอลัมน์ที่ 2 ชะด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 10 มิลลิกรัม ชะ 5 ครั้งแต่ละครั้งเก็บสารละลาย จากนั้นนำไปเทียบกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01, 0.1 โมลาร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4.1-4.4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะโลหะหนักออกจากเส้นใยอ้อย

ชุดที่	0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์ 1)		0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์ 2)	
	% ดูดซับ	% การชะ	% ดูดซับ	% การชะ
1	99.04	70.15	98.66	66.00
		21.75		20.29
		0.67		0.96
		0.55		0.23
		0.55		0.20
2	97.42	87.37	98.98	73.51
		6.08		9.64
		0.17		1.35
		0.57		0.29
		0.64		0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆ และการชะ โลหะหนักออก จากเส้นใยอ้อย (ต่อ)

ชุดที่	0.01 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์1)		0.1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (คอลัมน์2)	
	% ดูดซับ	% การชะ	% ดูดซับ	% การชะ
3	97.30	70.46	98.32	68.02
		22.14		19.73
		1.59		1.26
		0.44		0.35
		0.53		0.26
4	98.34	88.63	98.48	80.09
		2.07		4.57
		0.28		0.55
		0.36		0.38
		0.38		0.36

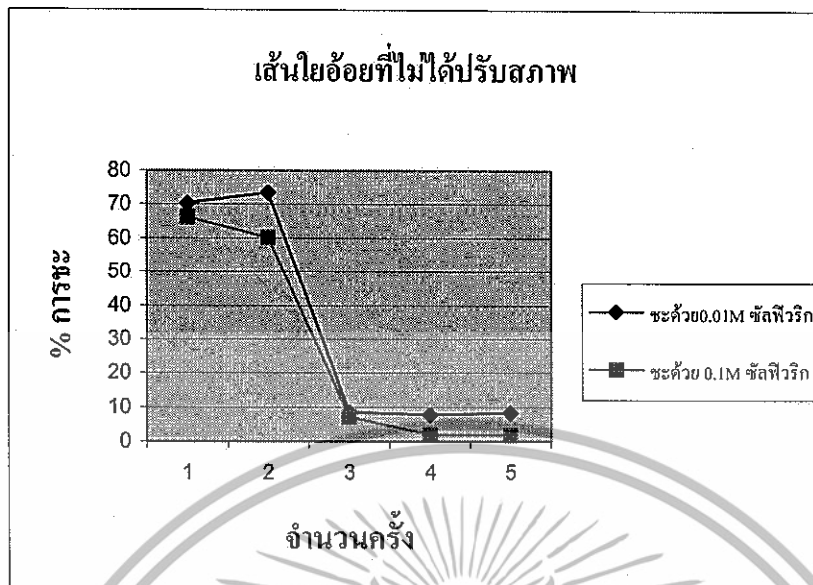
หมายเหตุ ชุดที่ 1 เป็นเส้นใยอ้อยที่ยังไม่ปรับสภาพ

ชุดที่ 2 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 5:12:40

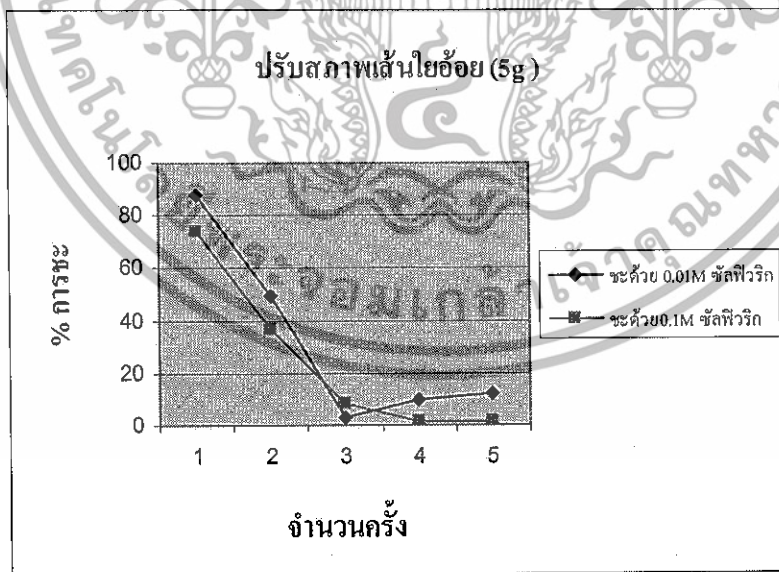
ชุดที่ 3 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 10:60:200

ชุดที่ 4 เป็นเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 15:60:200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

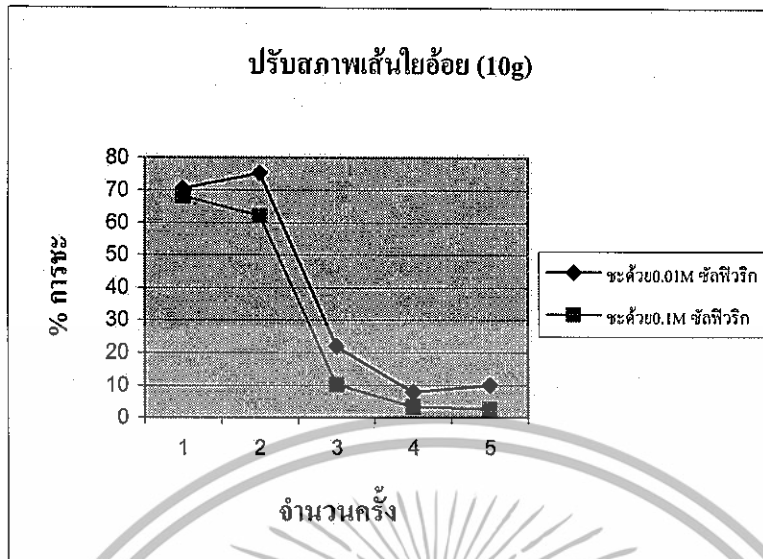


รูปที่ 4.4.1 เปอร์เซนต์การชะ โลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ

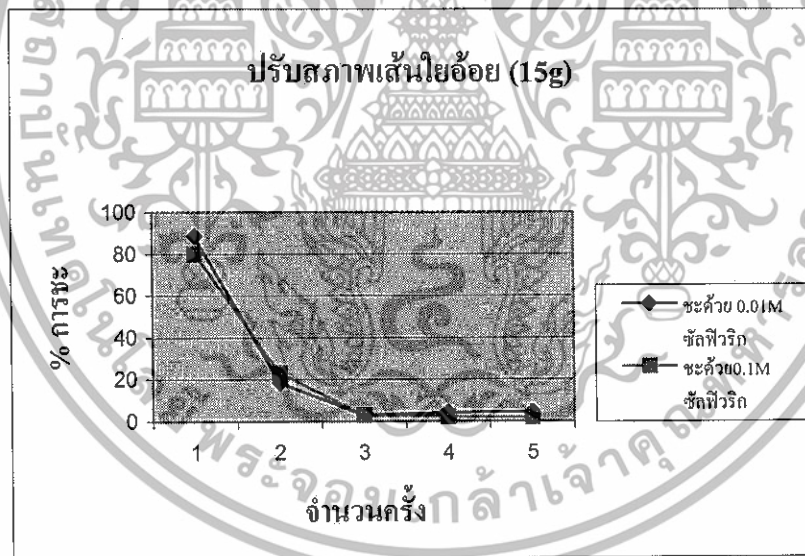


รูปที่ 4.4.2 เปอร์เซนต์การชะ โลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 5:12:40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.3 เปรี่เซ้นต์การชะ โลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 10:60:200



รูปที่ 4.4.4 เปรี่เซ้นต์การชะ โลหะทองแดงด้วยเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพ 15:60:200

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4.1-4.4.4 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของเส้นใยอ้อยจะดูดซับโลหะทองแดงได้ใกล้เคียงกัน ส่วนประสิทธิภาพการชะจะมีแนวโน้มลดลงทั้ง 0.01 โมลาร์และ 0.1 โมลาร์ ของสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์ มีประสิทธิภาพการชะดีกว่า 0.1 โมลาร์ของสารละลายกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการกำจัดโลหะหนักด้วยเส้นใยอ้อย ใช้หลักการการดูดซับและการแลกเปลี่ยนไอออนแล้ววิเคราะห์โลหะหนักโดยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐานและตรวจวัดโดยใช้เครื่องอะตอมมิค แอปซอร์บชัน

จากผลการทดลองที่ 4.1 พบว่าการดูดซับครั้งแรกจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุดและจะลดลงเมื่อทำการชะหลายๆครั้งในคอลัมน์เดียวกัน แต่เปอร์เซ็นต์การชะเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบทั้งสี่คอลัมน์เปอร์เซ็นต์การดูดซับของเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพในอัตราส่วน 5:12:40 มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด

จากผลการทดลองที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพของเส้นใยอ้อยจะดูดซับโลหะทองแดงได้ใกล้เคียงกัน ส่วนประสิทธิภาพการชะโลหะทองแดงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์จะดีกว่า 0.1 โมลาร์ แต่น้ำไม่มีประสิทธิภาพในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยอ้อย

จากผลการทดลองที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพของเส้นใยอ้อยจะดูดซับโลหะทองแดงได้ใกล้เคียงกัน ส่วนประสิทธิภาพการชะจะมีแนวโน้มลดลงทั้ง 0.01 โมลาร์และ 0.1 โมลาร์ ของสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์ มีประสิทธิภาพการชะดีกว่า 0.1 โมลาร์ของสารละลายกรดซัลฟิวริก

สรุปได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับของเส้นใยอ้อยทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วน (อ้อย :  $\text{CH}_2\text{O}$  :  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เท่ากับ 5 : 12 : 40, 10 : 60 : 200 , และ 15 : 60 : 200 จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำซ้ำหลายๆครั้ง ส่วนการชะโลหะหนักออกจากเส้นใยอ้อยด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 , 0.1 , 0.5 M และน้ำปราศจากไอออนพบว่าน้ำจะไม่มีประสิทธิภาพในการชะโลหะทองแดงออกจากเส้นใยอ้อยแต่สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.01 M จะมีประสิทธิภาพการชะโลหะออกจากเส้นใยอ้อยมากที่สุด

#### ข้อเสนอแนะ

1. แพลตฟอร์มที่มีผลต่อการดูดซับโลหะขึ้นอยู่กับหมู่ไฮดรอกซีที่เกาะอยู่ในเซลล์โลสของเส้นใยอ้อย โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกของเส้นใย และมาเปรียบเทียบกับเซลล์โลสที่มาจากแหล่งวัสดุอื่นเพื่อทำการศึกษาต่อว่าวัสดุใดที่จะสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ควรวัดพีเอชของสารละลายที่ถูกชะออกมาก่อนนำไปตรวจวัด เพื่อศึกษาความเป็นกรดว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการชะ
3. น้ำตาลเป็นส่วนประกอบของเส้นใยอ้อยจึงควรศึกษาว่าน้ำตาลมีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับและประสิทธิภาพการชะอย่างไร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] โลหะหนัก “มลพิษสิ่งแวดล้อม” [online]. Available : <http://www.ksu.ac.th/teather/anurak/Lesson3.htm> ค้นเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2548.
- [2] ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์, ปริญญา รุ่งโรจน์กิจไพศาล, และปวีณา จรัส โชติพิณิต. (2544). การดูดซับตะกั่วโดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากเปลือกหอยแครง. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] จรา ทัพพตี และ ทินกร เจนศิริรุ่งเรือง. (2544). คอมพอสิตพอลิไตรีนที่ใช้แล้วและ เส้นใยชานอ้อย. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] วชิร อธิปัญญาสฤกษ์, วัฒนเกียรติ เลื่องลือเจริญกิจ, และ วิศนีย์ ตั้งยืนยง. (2540). การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ (ชานอ้อย) เพื่อใช้ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] พิมพ์ เรียงวัฒนา, และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2528). เคมีสถานะแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] ชัชฎาพร งามอาจ. (2545). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] แม้น อมรสิทธิ์, และ อมร เพชรสม. (2535). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] O. Dalman, A. Demirak, and A. Balci. 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrophotometry. **Food Chemistry**.95:157-162.
- [9] A. Dabrowski, Z. Hubicki, P. Podkoscielny, and E. Robens. 2004. Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. **Chemosphere**. 56:91-106.
- [10] C. Nascentes, M. Kamogawa, K. Fernandes, M. Arruda, A. Nogueira, and J. Nobrega. 2005. Direct determination of Cu, Mn, Pb, and Zn in beer by thermospray flame furnace atomic absorption spectrometry. **Spectrochimica Acta Part B** 60:749-753.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ตาราง แสดงน้ำหนักเส้นใยอ้อยและค่าการดูดกลืนแสงของชุดการทดลองที่ 1

น้ำหนักเส้นใยอ้อย (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	ดูดซับ	ชะด้วยน้ำ
0.5074	0.008	0.000
	0.005	0.003
	0.078	0.010
	0.230	0.016
	0.269	0.024
0.5118	0.001	0.004
	0.006	0.003
	0.081	0.014
	0.240	0.013
	0.262	0.022
ลำต้น	4.985	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงน้ำหนักเส้นใยอ้อยและค่าการดูดกลืนแสงของชุดการทดลองที่ 2

น้ำหนักเส้นใยอ้อย (g)		ค่าดูดกลืนแสง					
		ดูดซับ	ชะด้วย น้ำ	ดูดซับ	ชะด้วย 0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ดูดซับ	ชะด้วย0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
ไม่ปรับ สภาพ	0.5074	0.001	0.015	-	-	-	-
	0.5021	-	-	0.003	0.031	-	-
	0.5012	-	-	-	-	0.003	0.232
ปรับ 5:12:40	0.5005	0.001	0.280	-	-	-	-
	0.5004	-	-	0.000	0.305	-	-
	0.5008	-	-	-	-	0.001	0.003
ปรับ 10:60:200	0.5006	0.009	0.003	-	-	-	-
	0.5014	-	-	0.003	0.266	-	-
	0.5013	-	-	-	-	0.006	0.243
ปรับ 15:60:200	0.5144	0.007	0.008	-	-	-	-
	0.5294	-	-	0.008	0.251	-	-
	0.5007	-	-	-	-	0.007	0.235

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงน้ำหนักเส้นใยอ้อยและค่าการดูดกลืนแสงของชุดการทดลองที่ 3

น้ำหนักเส้นใยอ้อย (g)		ค่าดูดกลืนแสง					
		ดูดซับ	ชะด้วยน้ำ	ดูดซับ	ชะด้วย 0.01M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ดูดซับ	ชะด้วย 0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
ไม่ปรับ สภาพ	0.5027	0.003	0.002	-	-	-	-
		0.001	0.002				
		0.001	0.001				
		0.001	0.001				
		0.002	0.001				
	0.5017	-	-	0.001	0.175	-	-
				0.101	0.299		
				0.025	0.278		
				0.035	0.283		
				0.031	0.230		
	0.5023	-	-	-	-	0.008	0.184
						0.265	0.160
						0.154	0.149
						0.171	0.153
						0.161	0.160
ปรับ 5:12:40	0.5005	0.017	0.003	-	-	-	-
		0.004	0.002				
		0.003	0.002				
		0.003	0.002				
		0.003	0.003				
	0.5004	-	-	0.002	0.164	-	-
				0.048	0.214		
				0.027	0.223		
				0.020	0.224		
				0.027	0.262		
	0.5008	-	-	-	-	0.012	0.194
						0.229	0.126
						0.163	0.117
						0.145	0.123
					0.142	0.138	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงน้ำหนักเส้นใยอ้อยและค่าการดูดกลืนแสงของชุดการทดลองที่ 3(ต่อ)

น้ำหนักเส้นใยอ้อย (g)		ค่าดูดกลืนแสง					
		ดูดซับ	ชะด้วยน้ำ	ดูดซับ	ชะด้วย 0.01M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ดูดซับ	ชะด้วย 0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
ปรับ 10:60:200	0.5032	0.002	0.003	-	-	-	-
		0.003	0.004				
		0.004	0.003				
		0.003	0.003				
		0.003	0.003				
	0.5026	-	-	0.006	0.115	-	-
				0.119	0.123		
				0.025	0.165		
				0.026	0.165		
				0.016	0.180		
	0.5033	-	-	-	-	0.016	0.151
						0.095	0.231
						0.090	0.192
						0.092	0.179
						0.037	0.150
ปรับ 15:60:200	0.5005	0.003	0.003	-	-	-	-
		0.003	0.003				
		0.003	0.003				
		0.003	0.003				
		0.003	0.003				
	0.5004	-	-	0.005	0.103	-	-
				0.076	0.178		
				0.029	0.151		
				0.028	0.131		
				0.027	0.142		
	0.5008	-	-	-	-	0.015	0.091
						0.138	0.130
						0.055	0.153
						0.045	0.147
						0.046	0.149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงน้ำหนักเส้นใยอ้อยและค่าการดูดกลืนแสงของชุดการทดลองที่ 4

น้ำหนักเส้นใยอ้อย (g)		ค่าดูดกลืนแสง			
		ดูดซับ	ชะด้วย 0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ดูดซับ	ชะด้วย 0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
ไม่ปรับ สภาพ	0.5011	0.005	0.090x10 0.315 0.017 0.004 0.003	-	-
	0.5027	-	-	0.002	0.105x10 0.226 0.008 0.006 0.006
ปรับ 5:12:40	0.3031	0.003	0.110x10 0.162 0.024 0.005 0.004	-	-
	0.3037	-	-	0.006	0.116x10 0.070 0.002 0.007 0.007

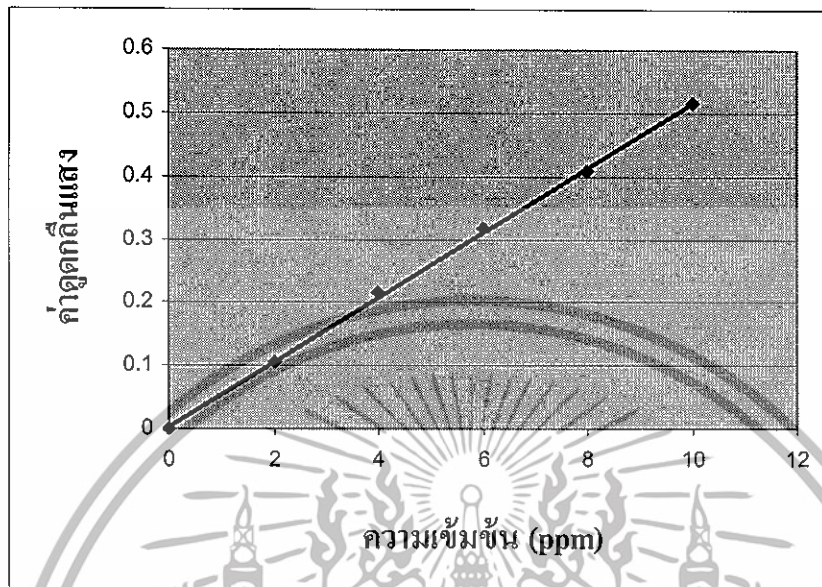
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงน้ำหนักเส้นใยอ้อยและค่าการดูดกลืนแสงของชุดการทดลองที่ 4 (ต่อ)

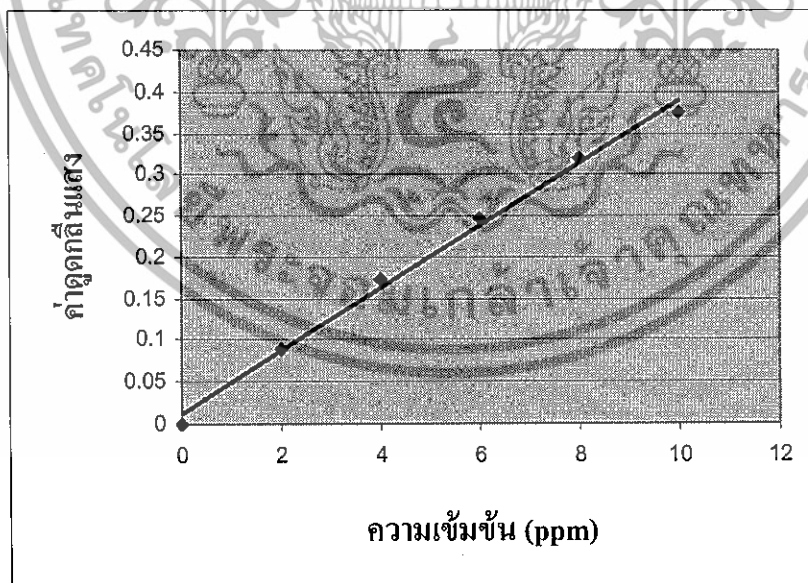
น้ำหนักเส้นใยอ้อย (g)		ค่าดูดกลืนแสง			
		ดูดซับ	ระด้อย 0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ดูดซับ	ระด้อย 0.1M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
ปรับ 10:12:200	0.5033	0.006	0.089x10 0.306 0.022 0.006 0.004	-	-
	0.5028	-	-	0.006	0.108x10 0.226 0.019 0.005 0.006
ปรับ 15:12:200	0.5034	0.005	0.0.113x10 0.079 0.010 0.006 0.006	-	-
	0.5027	-	-	0.004	0.126x10 0.025 0.003 0.004 0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

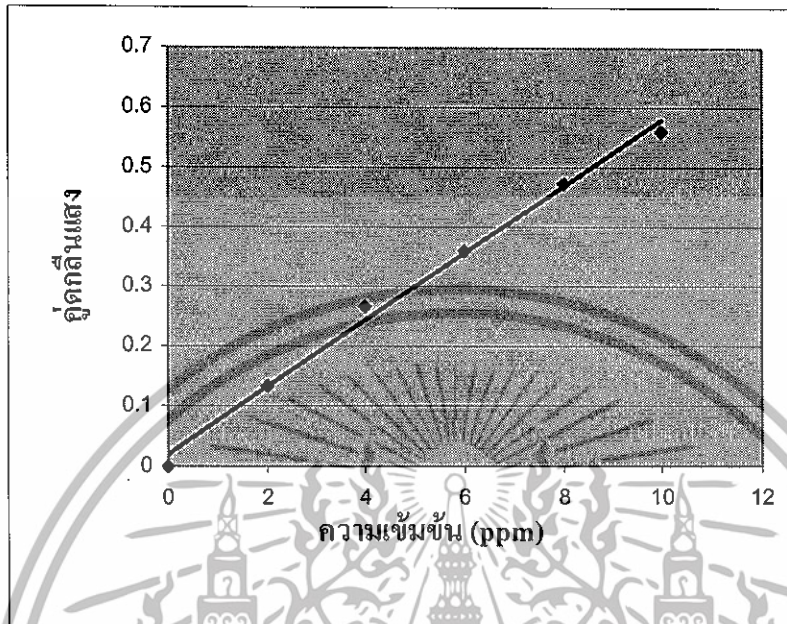


รูป กราฟมาตรฐานของสารละลายคอปเปอร์เจีองด้วยน้ำ



รูป กราฟมาตรฐานของสารละลายคอปเปอร์เจีองด้วยกรดซัลฟิวริก 0.01 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป กราฟมาตรฐานของสารละลายคอปเปอร์เจือจางด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค  
มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม  
และนิคมอุตสาหกรรม

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
โลหะหนัก (Heavy Metal)	
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 50 mg/L
โครเมียม (Cr)	
Hexavalent	ไม่เกิน 0.25 mg/L
Trivalent	ไม่เกิน 0.75 mg/L
อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 mg/L
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 mg/L
ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 mg/L
แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 mg/L
แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 mg/L
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 mg/L
นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 mg/L
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l

หมายเหตุ:

1. มาตรฐานฯ นี้ได้ประกาศเป็นประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539
2. mg/L หมายถึง มิลลิกรัมต่อลิตร
3. โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
4. นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรม หรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบอุตสาหกรรมที่มีการจัดระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน
5. น้ำเสีย หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. น้ำทิ้ง หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม หรือนิคมอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นๆในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศ
7. โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 3 ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 และนิคมอุตสาหกรรม ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2537 ให้กำหนดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมตามมาตร 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับและการชะบนเส้นใยอ้อย

จากการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทั้งที่ไม่ปรับและปรับสภาพในอัตราส่วนต่างๆและศึกษา การชะ โลหะหนักออกจากเส้นใยอ้อย ซึ่งทำการทดลองดังนี้

1. เตรียมสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm โดยเปิดสารละลายทองแดง 100 ppm มา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลาร์
3. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพ โดยนำเส้นใยอ้อยมาใส่ในฟอร์มาลดีไฮด์ ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) 37% และสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.2 โมลาร์ ในอัตราส่วน อ้อย :  $\text{CH}_2\text{O}$  :  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เท่ากับ 5 : 12 : 40
4. กวนนาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ  $50^\circ\text{C}$
5. นำวัสดุที่เตรียมได้มาล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน จนพีเอชประมาณ 4-5
6. เตรียมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดปรับสภาพใหม่ โดยทำในอัตราส่วน 10 : 60 : 200 และ 15 : 60 : 200
7. ชั่งน้ำหนักเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ปรับสภาพในอัตราส่วน 5 : 12 : 40 มาประมาณ 0.5 กรัม ชั่งซ้ำอีก 2 ชั่ง ใส่ใน syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 คอลัมน์
8. นำน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร elute ผ่านลงในคอลัมน์ทั้งสามเพื่ออัดให้แน่น
9. ผ่านสารละลายทองแดงความเข้มข้น 5 ppm ที่เตรียมไว้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ทั้งสามที่บรรจุเรซินที่ปรับสภาพ เก็บสารละลายทองแดงที่ถูก elute ออกมา
10. คอลัมน์ที่ หนึ่ง สองและสามอีลิวต์ด้วย น้ำที่ปราศจากไอออน สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลาร์ คอลัมน์ละ 50 มิลลิลิตรตามลำดับ เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ทั้งสามไว้
11. นำสารละลายที่ถูกอีลิวต์ทั้งหมดนำไปตรวจหาปริมาณทองแดงเทียบกับกราฟมาตรฐานของคอปเปอร์ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm ที่เจือจางด้วยน้ำกลั่น ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณ

ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับโดยเส้นใยอ้อย = ปริมาณทองแดงเริ่มต้น - ปริมาณทองแดงไม่ถูกดูดซับโดยเส้นใยอ้อย

เริ่มต้น

สารละลายตัวอย่าง	1000 มิลลิลิตร	มีคอปเปอร์อยู่	5 มิลลิกรัม
ถ้าเอาสารละลายตัวอย่างมา	50 มิลลิลิตร	มีคอปเปอร์	0.25 มิลลิกรัม

(การคำนวณตัวอย่างชุดที่ 2 จะด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์)

ไม่ดูดซับ

สารละลายตัวอย่าง	1000 มิลลิลิตร	วัดคอปเปอร์ได้	0.088 มิลลิกรัม
ถ้าเอาสารละลายตัวอย่างมา	50 มิลลิลิตร	มีคอปเปอร์	0.0044 มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้นปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับโดยเส้นใยอ้อยเท่ากับ  $0.25 - 0.0044 = 0.2456$  มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับโดยเส้นใยอ้อย} &= \frac{\text{ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับโดยเส้นใยอ้อย}}{\text{ปริมาณทองแดงเริ่มต้น}} \times 100 \\ &= \frac{0.2456}{0.25} \times 100 \\ &= 98.24 \end{aligned}$$

การชะด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 โมลาร์

สารละลายตัวอย่าง	1000 มิลลิลิตร	วัดคอปเปอร์ได้	6.661 มิลลิกรัม
ถ้าเอาสารละลายตัวอย่างมา	50 มิลลิลิตร	มีคอปเปอร์	0.3331 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การชะ} &= \frac{\text{ปริมาณทองแดงไม่ถูกดูดซับ}}{\text{ปริมาณทองแดงที่ถูกดูดซับในเส้นใยอ้อย}} \times 100 \\ &= \frac{0.3331}{0.2456} \times 100 \\ &= 135.63 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้