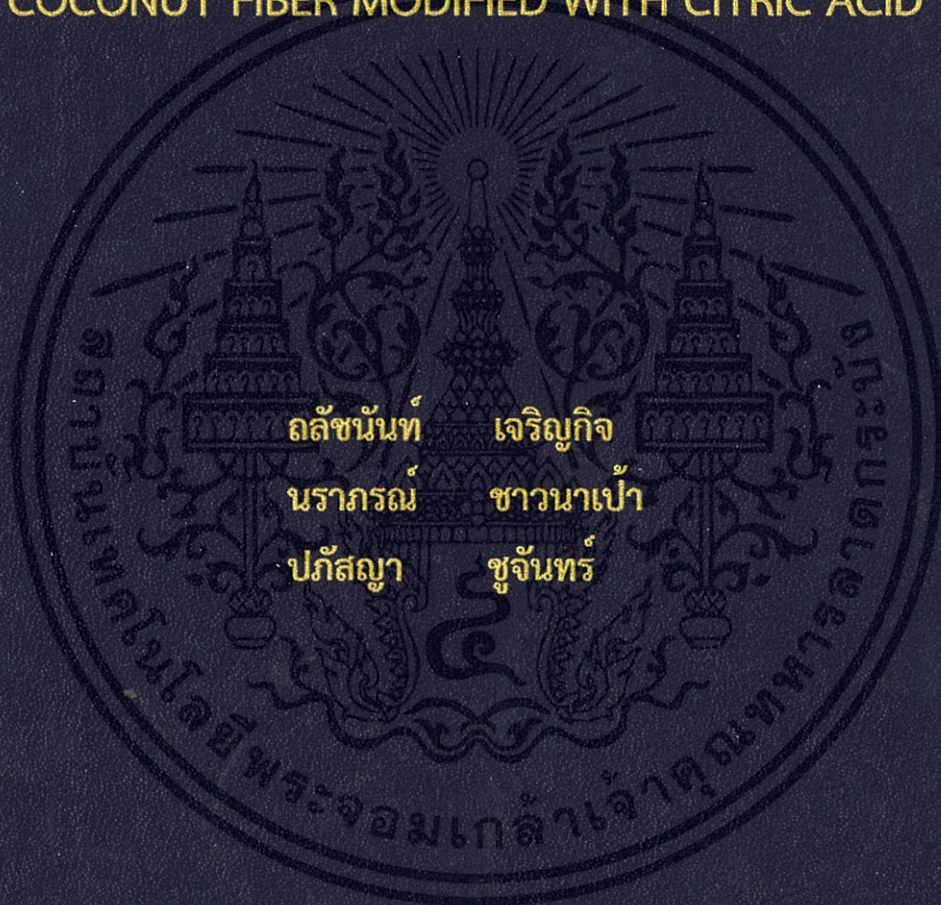


การดูดซับทองแดงและนิกเกิลที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์โดย  
ใช้ใยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก

ADSORPTION OF COPPER AND NICKEL

CONTAMINATED IN SYNTHETIC WASTEWATER USING  
COCONUT FIBER MODIFIED WITH CITRIC ACID



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

การดูดซับทองแดงและนิกเกิลที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์โดย  
ใช้ใยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก  
ADSORPTION OF COPPER AND NICKEL  
CONTAMINATED IN SYNTHETIC WASTEWATER USING  
COCONUT FIBER MODIFIED WITH CITRIC ACID



โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF COPPER AND NICKEL  
CONTAMINATED IN SYNTHETIC WASTEWATER USING  
COCONUT FIBER MODIFIED WITH CITRIC ACID



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFULMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTUTUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การดูดซับไอออนทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ใย  
มะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก  
ADSORPTION OF COPPER AND NICKEL IONS IN SYNTHETIC  
WASTEWATER USING COCONUT FIBER MODIFIED WITH  
CITRIC ACID

ชื่อนักศึกษา นางสาวลลชัชชนันท์ เจริญกิจ รหัสนักศึกษา 55050921  
นางสาวนราภรณ์ ชาวนาเป่า รหัสนักศึกษา 55050936  
นางสาวปภัสนญา ชูจันทร์ รหัสนักศึกษา 55050950

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติ  
ให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
(เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. สุวรรณีย์ จรรยาพูน กรรมการ	
ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับไอออนทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ไยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก
ชื่อนักศึกษา	นางสาวถลันนันท์ เจริญกิจ รหัสนักศึกษา 55050921 นางสาวนราภรณ์ ขาวนาเป่า รหัสนักศึกษา 55050936 นางสาวปภัสนญา ชูจันทร์ รหัสนักศึกษา 55050950
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริกโดยศึกษาสภาวะและปัจจัยต่างๆในการดูดซับไอออนของทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และไอออนของนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ศึกษาประสิทธิภาพของไยมะพร้าวในการดูดซับ Cu และ Ni และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ Cu และ Ni ของวัสดุดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกที่วิเคราะห์โดย Atomic Absorption Spectrometer (AAS) ผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริกใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ ระยะเวลาสัมผัสเป็นเวลา 120 นาที และอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที pH ที่เหมาะสมในการดูดซับคือ pH เท่ากับ 5 และใช้ระยะเวลาในการดูดซับเป็นเวลา 10 นาที เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวทำให้ไยมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงและนิกเกิลสูงสุด คือ มีประสิทธิภาพในการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$  ร้อยละ 98.99 และมีประสิทธิภาพในการดูดซับ  $\text{Ni}^{2+}$  ร้อยละ 99.89 และพบว่าไยมะพร้าวที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกให้ประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่าไยมะพร้าวที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก

**คำสำคัญ:** กรดซิตริก การดูดซับ ไยมะพร้าว ไอออนทองแดง ไอออนนิกเกิล โลหะหนัก

<b>Title</b>	ADSORPTION OF COPPER AND NICKEL IONS IN SYNTHETIC WASTEWATER USING COCONUT FIBER MODIFIED WITH CITRIC ACID		
<b>Students</b>	MISS Talatchanan	Chareonkit	Student ID 55050921
	MISS Naraporn	Chownapao	Student ID 55050936
	MISS Papasaya	Choojan	Student ID 55050950
<b>Degree</b>	Bachelor of Science		
<b>Department</b>	Chemistry		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
<b>AcademicYear</b>	2015		
<b>Advisor</b>	Asst.Prof .Dr. Chompoonut Chaiyaraksa		

### ABSTRACT

The objective of this special project was to study the suitable condition to modified coconut fiber by citric acid. The studying was also on the suitable condition and factors to adsorb copper and nickel, adsorption efficiency of copper and nickel. The comparison of adsorption efficiency of modified and unmodified coconut fiber was included. The copper and nickel were determined by Atomic Absorption Spectrometer (AAS). Results showed that 0.4 mM citric acid, 120 minute contact time and 120 incubation temperature for 120 minute were the suitable condition to modify. The contact time of 10 minute and pH 5 gave the best adsorption efficiency for copper (98.99%) and nickel (99.89%). The copper and nickel adsorption of modified coconut fiber was higher than unmodified.

**Keyword :** Absorption, Citric acic, Coconut fiber, Copper ion, Heavy metal, Nickel ion

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำปรึกษาคำแนะนำและให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่ายผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังกล่าวต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และการแก้ไขปัญหาลดจนให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสำเร็จในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ ผศ.ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน คณะกรรมการควบคุมการสอบ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขงานโครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์หลักสูตรเคมีสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆและช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่บุคคลในครอบครัวตลอดจนเพื่อนๆในสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมฯ และเพื่อนๆในคณะวิทยาศาสตร์ที่คอยให้ความรักความเข้าใจเป็นกำลังใจและเป็นທີ່ปรึกษาที่ดีตลอดการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำสำนึกในพระคุณทุกท่านและถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความกรุณาให้กำลังใจให้คำปรึกษาทำให้คณะผู้จัดทำมีแรงใจทำโครงการพิเศษเล่มนี้ให้ออกมาสมบูรณ์ที่สุด

ถลันนันท	เจริญกิจ
นราภรณ์	ชานาเป้า
ปัทสนา	ชูจันทร์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สัญลักษณ์.....	ฅ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 โลหะหนัก.....	3
2.1.1 ทองแดง.....	3
2.1.2 นิกเกิล.....	4
2.2 วิธีการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	5
2.2.1 การตกตะกอนทางเคมี.....	6
2.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน.....	6
2.2.3 ออกซิเดชันและรีดักชัน.....	6
2.2.4 รีเวิร์สออสโมซิส.....	6
2.2.5 การระเหย.....	7
2.2.6 อิเล็กโตรไดอะไลซิส.....	7
2.2.7 การแยกกลับคืนด้วยไฟฟ้า.....	7
2.3 การดูดซับ.....	7
2.4 กลไกที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางชีวภาพ.....	8
2.5 วัสดุทางชีวภาพในการดูดซับโลหะหนัก.....	9
2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางชีวภาพ.....	10
2.6.1 ขนาดของอนุภาค.....	10
2.6.2 ค่าพีเอช.....	10
2.6.3 อุณหภูมิ.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.4 ความปั่นป่วน.....	10
2.6.5 เวลา.....	11
2.7 กรดซิตริก.....	11
2.8 โครงสร้างของพืช.....	12
2.9 ไยมะพร้าว.....	15
2.10 การปรับปรุงคุณภาพ.....	18
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>25</b>
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	25
3.2 วิธีการทดลอง.....	26
3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และเตรียมวัสดุที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	26
3.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วย กรดซิตริก.....	26
3.2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	28
3.2.4 การศึกษาการดูดซับของกากมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วย กรดซิตริก.....	28
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>29</b>
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพกากมะพร้าวด้วย กรดซิตริก.....	29
4.1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซิตริก.....	29
4.1.2 การศึกษาผลของช่วงระยะเวลาการสัมผัส.....	30
4.1.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิ.....	31
4.1.4 การศึกษาผลของเวลาในการอบตัวดูดซับ.....	33
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ.....	34
4.2.1 การศึกษาผลของ pH.....	34
4.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการดูดซับ.....	35
4.3 การศึกษาผลของการดูดซับไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก.....	36
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>37</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	39
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลและทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ โয়เมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก.....	44
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	64
ภาคผนวก ค การคำนวณที่เกี่ยวข้อง.....	79
ภาคผนวก ง มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.....	90



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ก-1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซิตริก.....	45
ก-1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสม.....	48
ก-1.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบ.....	52
ก-1.4 การศึกษาผลของระยะเวลาในการอบตัวดูดซับ.....	55
ก-2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ .....	58
ก-2.1 การศึกษาผลของค่า pH ที่เหมาะสม.....	60
ก-2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการดูดซับ.....	62
ก-3 การศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วย กรดซิตริก .....	65
ข-4.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิล.....	66
ข-4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง.....	67
ข-4.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซิตริกที่เหมาะสม(นิกเกิล).....	68
ข-4.2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซิตริกที่เหมาะสม(ทองแดง)....	69
ข-4.3.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกที่เหมาะสม (นิกเกิล).....	70
ข-4.3.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกที่เหมาะสม (ทองแดง).....	71
ข-4.4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการอบตัวดูดซับที่เหมาะสม(นิกเกิล).....	72
ข-4.4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการอบตัวดูดซับที่เหมาะสม(ทองแดง).....	73
ข-5.1.1 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม(นิกเกิล).....	74
ข-5.1.2 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม(ทองแดง).....	75
ข-5.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม(นิกเกิล).....	76
ข-5.2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม(ทองแดง).....	77
ข-6.1 ผลการศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วย กรดซิตริก(นิกเกิล).....	78
ข-6.2 ผลการศึกษาการดูดซับของกากมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วย กรดซิตริก(ทองแดง).....	79
ง-1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับทางชีวภาพ.....	9
2.2 โครงสร้างทางเคมีเซลล์โลส.....	12
2.3 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลล์โลส.....	13
2.4 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.....	14
2.5 โครงสร้างโมโนเมอร์ของลิกนิน.....	15
2.6 มะพร้าวและไยมะพร้าว.....	15
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดซิตริกกับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ).....	29
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ไยมะพร้าวสัมผัสกับกรดซิตริกเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ).....	31
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ).....	32
4.4 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเซลล์โลสและกรดซิตริกในกระบวนการปรับสภาพ.....	33
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาอบไยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ).....	33
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ).....	34
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการดูดซับ กับการดูดซับของทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ).....	35
4.8 ลักษณะไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ).....	36

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AAS	อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer)
ppm	ความเข้มข้นหนึ่งในล้านส่วน (part per million)
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
g	กรัม
Mw	มวลโมเลกุล
m	น้ำหนัก
mg	มิลลิกรัม
ml	มิลลิลิตร
M	โมลาร์
pH	ความเป็นกรด - ด่าง
Min	นาที
Cu	ทองแดง
Ni	นิกเกิล
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>8</sub>	กรดซิตริก
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
HNO <sub>3</sub>	กรดไนตริก
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	เลด (II) ไนเตรต
qe	ปริมาณของตัวดูดซับบนตัวดูดซับหนัก 1 กรัม
X	ปริมาณของตัวดูดซับ
Ce	ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
k	ค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ
n	ค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ
S.D.	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ส่งผลให้เทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลของภาคอุตสาหกรรมนั้นก่อให้เกิดปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมมากมายทั้งดิน น้ำ และอากาศ หนึ่งในนั้นก็คือการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งการกำจัดโลหะปนเปื้อนนี้ก็ทำได้ยากยิ่งเพราะสลายตัวได้ช้า และมีการสะสมมากขึ้นเรื่อยๆในห่วงโซ่อาหาร หากปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อมจะทำให้เกิดมลพิษเรื้อรังและเกิดพิษสะสมขึ้นจนระบบนิเวศถูกทำลายสูญเสียไป เมื่อไปปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดมลพิษทางน้ำ ถ้าหากสัตว์ได้รับเข้าไปในร่างกายหรือตายลงโลหะหนักก็จะเคลื่อนที่สะสมต่อไปตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร ไปจนถึงสามารถส่งผลให้เกิดอันตรายต่อไปยังร่างกายมนุษย์ได้

ทองแดงและนิกเกิลจัดเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษที่มีอันตรายสูงต่อสิ่งมีชีวิต โดยทองแดงเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมที่กระเพาะอาหารเป็นส่วนใหญ่ และสะสมไว้ที่ตับไต หัวใจ และเส้นผม แต่หากเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะทำให้อาเจียน ปวดท้องความดันโลหิตต่ำ และตับไม่ทำงานอาจทำให้เสียชีวิตได้ (ศุภชัย รัตนมณีฉัตร, 2534) ส่วนนิกเกิลเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดความเป็นพิษเฉียบพลันมีอาการไข้ปวดศีรษะ หน้ามืด ไอ เจ็บหน้าอก อาเจียน และเมื่อสัมผัสทางการหายใจก่อให้เกิดการระคายเคืองจากนั้น 12-36 ชั่วโมง อาจเกิดภาวะปอดอักเสบเฉียบพลันจนทำให้เสียชีวิตจากการหายใจล้มเหลวได้ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.ค) ซึ่งโลหะหนักทั้งสองนี้มักปนเปื้อนมากับน้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายๆประเภท เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานอุตสาหกรรมสีโรงงานแบตเตอรี่ เป็นต้นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวที่มีโลหะหนักทองแดงและนิกเกิลอยู่จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

การบำบัดโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำเสียอุตสาหกรรมมีหลายวิธี การดูดซับทางชีวภาพโดยใช้ชีวมวลในการดูดซับทำให้โลหะหนักไม่เคลื่อนที่ในสารละลายเป็นวิธีการกำจัดที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุดูดซับโลหะหนัก คือ ไยมะพร้าว เพราะเป็นวัสดุที่เหลือใช้หาง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีการใช้ขุยของไยมะพร้าวนำมากรองโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากไยมะพร้าวมีเซลลูโลสเป็นเส้นใยซึ่งสามารถดูดซับโลหะหนักได้ (สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน, 2556) ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการใช้ไยมะพร้าวเป็นวัสดุในการดูดซับทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก
2. เพื่อศึกษาสภาวะและปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Ni}^{2+}$  ในน้ำเสียสังเคราะห์
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไยมะพร้าวที่ใช้ในการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Ni}^{2+}$  ในน้ำเสียสังเคราะห์
4. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงและนิกเกิลของวัสดุดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริกโดยการศึกษาหาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมแปรผันความเข้มข้น (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 mM) ระยะเวลาการสัมผัสของตัวดูดซับกับกรดซิตริกที่เหมาะสมโดยแปรผันระยะเวลา (0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที) อุณหภูมิในการอบตัวดูดซับที่เหมาะสมโดยแปรผันอุณหภูมิ (30, 80, 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการอบตัวดูดซับที่เหมาะสมโดยแปรผันระยะเวลา (30, 60, 90, 120, และ 150 นาที)
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมแปรผันค่า pH (3, 4, 5, 6 และ 7) และระยะเวลาของการดูดซับที่เหมาะสมโดยแปรผันระยะเวลา (10, 30, 60, 120, และ 180 นาที)
3. ศึกษาและเปรียบเทียบการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกโดยใช้สภาวะการดูดซับเดียวกัน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงประสิทธิภาพของไยมะพร้าวในการดูดซับของน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิล
2. สามารถแก้ไขปัญหาน้ำเสียอุตสาหกรรมปนเปื้อนทองแดงและนิกเกิลได้ด้วยเทคโนโลยีที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
3. สามารถนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาตัวดูดซับชนิดอื่นต่อไป
4. สามารถนำวัสดุธรรมชาติที่เหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 โลหะหนัก

นิยามและความหมาย

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะแอลคาไลน์ (Alkali) และโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline earth) ซึ่งโดยทั่วไปเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic number) อยู่ในช่วง 23 ถึง 92 อยู่ในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ (Hawley, 1997)

#### 2.1.1 ทองแดง (Copper, Cu)

ทองแดงจัดอยู่ในหมู่ IIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 มวลอะตอม 23.54 มีความถ่วงจำเพาะ 8.96 จุดหลอมเหลว 1,805 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,562 องศาเซลเซียส ทองแดงสามารถนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ทนต่อการกัดกร่อน ปกติไม่พบในรูปอิสระ พบในรูปของสารประกอบและแร่ โดยในธรรมชาติทองแดงเป็นแร่ที่มีมากที่สุด และมีจะปะปนอยู่กับแร่สังกะสี โดยทองแดงจะพบอยู่ในรูปของแร่ Cuprite ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) หรือ Copperpyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ) Chalcocite หรือ Copperglance ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) ซึ่งในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของแข็งซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับเหล็ก ทองคำ และเงิน

#### การใช้ประโยชน์

ทองแดงมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ซึ่งมากกว่า 50% ทองแดงถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรม เนื่องมาจากทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีการใช้งานส่วนใหญ่จึงเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไฟฟ้า เช่น ใช้ทำสายไฟ เคเบิล มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไดนาโม พัดลม ระบบควบคุมในโรงงานอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบจ่ายกำลังเครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ นอกจากนั้นด้วยคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนทองแดงจึงนำมาใช้ในการก่อสร้างหลายอย่าง เช่น ทำหลังคาทำน้ำและข้อต่อต่างๆ ระบบให้ความร้อนและระบบปรับอากาศ ใช้ทำเครื่องจักรกล เครื่องใช้ในบ้านเนื่องจากขึ้นรูปง่าย และเนื่องจากมีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนของน้ำทะเล และมีการถ่ายเทความร้อนสูงจึงใช้ทำท่อวาล์วข้อต่อในโรงกลั่นน้ำจากทะเล อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและเครื่องมือกลอื่นๆ ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเครื่องบิน เรือเดินสมุทร หัวจักรรถไฟ อุปกรณ์สวิทช์และสัญญาณต่างๆ การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ของทองแดง เช่น ใช้ผลิตยุงฆัณฑ์ ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเครื่องวัดต่างๆ เครื่องประดับตกแต่งเหรียญกษาปณ์ บรรจุภัณฑ์และใช้ผลิตโลหะผสม เช่น ทองเหลืองและทองสัมฤทธิ์ เป็นต้น (กิตติพันธ์ บายีชัน, 2551) และนอกจากนี้ยังใช้เป็นสารประกอบทองแดงเพื่อกำจัดหอยที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อแหล่งน้ำ

#### ความเป็นพิษ

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ และมีส่วนในการสร้างฮีโมโกลบินแต่สิ่งมีชีวิตต้องการในปริมาณน้อย โดยทองแดงที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซับที่กระเพาะอาหารเป็นส่วนใหญ่ และสะสมไว้ที่ตับ ไต หัวใจ และเส้นผม แต่หากทองแดงเข้าสู่ร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริมาณมาก ทำให้อาเจียน ปวดท้อง ท้องเดินเป็นน้ำหรือเลือด ปัสสาวะเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ และตับไม่ทำงาน อาจทำให้เสียชีวิตได้ (ศุภชัย รัตนมณีฉัตร, 2534)

ในสัตว์น้ำถ้าหากได้รับทองแดงสูงเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเป็นพิษได้ เช่น หอยนางรมที่สะสมทองแดงไว้มากทำให้เหงือกและ Mantle มีสีเขียวคล้ำผิดปกติ ส่วนในปลา สารประกอบทองแดงทำลายเซลล์ที่อยู่ตามเหงือกปลาทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ผิดปกติ (วิกิตำนา ชัยบุตร, 2541)

### 2.1.2 นิกเกิล (Nickel, Ni)

นิกเกิลเป็นธาตุหมู่ VIII B ของตารางธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักอะตอม 58.97 เลขอะตอม 28 จุดเดือด 2,730 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,453 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.91 เป็นโลหะสีขาวเงิน (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.บ.ค) มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี ซึ่งเป็นสารประกอบนิกเกิลส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ดีในค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 6.5 นิกเกิลในธรรมชาติพบอยู่ในรูปสัลไฟด์ (Nickelsulfide) และนิกเกิลออกไซด์ (Nickeloxide) โดยปกติ นิกเกิลในดินมีปริมาณ 5-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เกิดการกระจายตัวโดยการดูดซึมของรากพืช และแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำโดยการชะล้างจากน้ำฝน นิกเกิลในแหล่งน้ำจะอยู่ในรูปของไอออนและรูปสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่เสถียร ดูดซับกับอนุภาคของซิลิกาและสะสมอยู่บริเวณชั้นบนของตะกอนพื้นท้องน้ำ (บุษกร อัยวงษ์, 2551)

#### การใช้ประโยชน์

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนสูง มีความเหนียวและอ่อนตัวมาก สามารถขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำได้ง่าย ทำให้ถูกนำไปใช้งานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม และเหล็กกล้าผสมใช้เคลือบอุปกรณ์ระดับยนต์ต่างๆ ใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้ทำโลหะผสมชนิดพิเศษ (Superalloy) ซึ่งต้านทานความเค้นและทนการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง สำหรับอุตสาหกรรมอากาศยานโดยใช้เป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์รักษาระดับความดันอากาศ ชิ้นส่วนต่างๆ เครื่องยนต์ของเครื่องบินไอพ่น จากคุณสมบัติที่สามารถดูดซับแม่เหล็กของนิกเกิลจึงใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เช่น เครื่องแปลงกำลังสำหรับพลังงานอัลตราโซนิก อุปกรณ์การสำรวจใต้น้ำในอุตสาหกรรมการเดินเรือ รวมถึงเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น เต้าไฟฟ้า หม้อหุงข้าว ซ้อนส้อม จาน และอุปกรณ์การทำอาหาร เป็นต้น (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551) ในรูปแบบของสารเคมีนิกเกิลใช้เป็นตัวเร่งในกระบวนการสังเคราะห์สารอินทรีย์ การกลั่นปิโตรเลียม ปฏิกริยาไฮโดรเจเนชันของไขมันและน้ำมันนอกจากนี้ นิกเกิลถูกนำไปใช้ในด้านทางการแพทย์ เป็นองค์ประกอบในอวัยวะเทียมสำหรับฟันปลอมและการผ่าตัด

#### ความเป็นพิษ

- **อาการเฉียบพลัน (1)** อาการจากการสูดหายใจ (inhalation effect) การสูดสารประกอบนิกเกิลอาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองคอและมีอาการเสียงแหบ ในขณะที่การสูดดม nickel carbonyl จะทำให้เกิดผลต่อร่างกายทั้งระบบ (2) อาการจากการสัมผัสทางผิวหนัง (dermal effect) Nickel contact dermatitis จะมีอาการแสบร้อน ระคายเคือง และตามด้วยรอยโรคแบบ erythema and nodular eruption ซึ่งอาจจะแตกเป็นแผลเป็น eczema ได้ รอยโรคอาจจะกระจายไปยังบริเวณข้างเคียงที่เป็นพื้นที่เคลื่อนไหว เช่น ข้อพับ เปลือกตา เป็นต้น รอยโรคอาจจะมีสีคล้ำขึ้นหรือจางลงก็ได้มีการรายงานว่าการสัมผัส Nickel sulphide ทางผิวหนังทำให้เกิดอาการหอบหืดได้ (3) อาการจากการสัมผัสเมื่อเข้าตา (eye effect) โลหะนิกเกิล ทำให้เกิดการระคายเคือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดวงตาจาก mechanical injury ได้ (4) อาการจากการสัมผัสทางการกิน (oral effect) การกินในปริมาณมากทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และท้องเสียการกิน nickel carbonyl อาจทำให้มีอาการไอ หายใจไม่อิ่ม และเวียนศีรษะมีรายงานว่ามีอาการทำลายท่อไตส่วนต้น (proximal convoluted tubules) จากการกินสารประกอบนิกเกิล

- อาการต่อระบบร่างกายจากการสัมผัสนิกเกิลคาร์บอนิล ระยะที่ 1 คลื่นไส้ อาเจียน ไอแหว่งๆ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย สั่น และมีเหงื่อออกมาก และอาจมีอาการกระวนกระวาย นอนไม่หลับ ขาระยะที่ 2 แน่นหน้าอก ไอ ปวดท้อง และตาพร่ามัวและอาจมีผลต่อหัวใจคือ หัวใจเต้นเร็วขึ้นหรือช้าลงก็ได้ หรือเต้นผิดจังหวะโดยไม่มี heart block ตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ อาจพบ PVC, myocarditis, S-T and T wave change, QT prolong อาการทางระบบประสาท ได้แก่อาการ ชัก มากกว่านั้นอาจจะเกิด ARDS cerebral edema ได้ ระยะยาวอาจจะมีการอ่อนเพลียได้นาน 3 – 6 เดือนหลังสัมผัส

- อาการระยะยาว การสัมผัสฝุ่นนิกเกิล (nickel dust) เป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดอาการ eczematous dermatitis, asthma, Loeffler's syndrome (pulmonary eosinophilia) การระคายเคืองเยื่อจมูก และเกิดผนังจมูกทะลุ (nasal septum perforation) ในบางรายอาจสูญเสียการรับกลิ่น การสัมผัสแบบเรื้อรังเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งในโพรงจมูก ไชไนส์ และปอดได้ องค์การ IARC กำหนดให้สารประกอบนิกเกิล (nickel compound) เป็นสารก่อมะเร็งร้ายสำหรับมนุษย์กลุ่มที่ 1 คือยืนยันแน่นอนว่าเป็นสารก่อมะเร็ง และกำหนดให้โลหะนิกเกิล (nickel metallic and alloy) จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2B คืออาจจะเป็นสารก่อมะเร็ง (นพ.สิริวิญญู เดชธรรม, 2555)

## 2.2 วิธีการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย (ชุตินา, 2543)

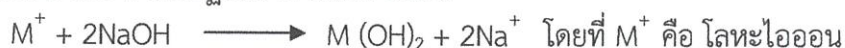
การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำจึงมีหลายวิธี

กระบวนการบำบัดที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียมีอยู่หลายวิธี การพิจารณาว่าจะเลือกวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ดังนี้ คือ คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนการบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ พื้นที่ต้องการใช้ในการทำโรงบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

### 2.2.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานแล้ว โดยทำการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสียเพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้ ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกันแต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 แบบ คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation) และการตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

1.) การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation) การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ จัดเป็นการตกตะกอนแบบดั้งเดิมโดยเติมสารเคมีคือปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกิดปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดอยู่นั้นคือโลหะไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติ Amphoteric คือไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนเป็นช่วงพีเอชกว้างโดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ที่พีเอช 8-11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้จะสามารถละลายกลับมาได้อีกถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไปจากค่าพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอน

2.) การตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation) การตกตะกอนซัลไฟด์สารเคมีที่นิยมใช้ในการตกตะกอนคือ โซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{NaHS}$ ) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ ( $\text{FeS}$ ) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ข้อดีของการตกตะกอนซัลไฟด์คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์แต่การตกตะกอนซัลไฟด์มีข้อจำกัดคือ เรื่องของกลิ่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{Hydrogensulfide}$ ) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้น โดยบำบัดเอาก๊าซซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

### 2.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือดูดจับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากัน ซึ่งสารแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์ เรซินมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้าม ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามเป็นไอออนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกจะเรียกว่า แคตไอออนเอกเชนเจอร์ (Cation Exchange) ถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบเรียกว่า แอนไอออนเอกเชนเจอร์ (Anion Exchange) วิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องถูกกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อจะทำให้การกำจัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

### 2.2.3 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

เป็นวิธีการทางเคมีที่นิยมใช้กันมาก ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆเจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชัน ได้แก่ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์เปอร์แมงกานेट โครเมตและไนเตรตส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชัน ได้แก่ เฟอร์ริกซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

### 2.2.4 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดัน แผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลสอะซีเตต และโพลีเอมีน ซึ่งจะให้เฉพาะสารบางชนิดผ่าน (Semipermeable Membrane) เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้จึงต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องบำบัดชั้นต้นโดยการปรับค่า pH แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออก และกรองสารแขวนลอยออกก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันการอุดตันของเมมเบรน วิธีการนี้เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า หรือน้ำเสียจากการล้างภาพ

## 2.2.5 การระเหย (Evaporation)

เป็นวิธีง่าย ๆ ที่ทำให้สารเคมีมีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยทั้งการระเหยที่บรรยากาศธรรมดา (Atmospheric Evaporation) และการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporation) วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงเท่านั้น แต่ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินงานสูง

## 2.2.6 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลาย ด้วยกระแสไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของกระบวนการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนกับการสกัดตัวทำละลายและน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันแผ่นเมมเบรนอุดตัน แต่วิธีการนี้ต้นทุนก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง แต่สามารถกำหนดไอออนที่ต้องการได้

## 2.2.7 การแยกกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดก๊าซออกซิเจนในขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีการนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่เป็นที่นิยมเพราะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

## 2.3 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Scheele ในปี ค.ศ.1773 ซึ่งเป็นการดูดซับของก๊าซ และต่อมาในปี ค.ศ.1785 Lowitz ได้ค้นพบการดูดซับของสารละลาย การดูดซับเป็นความสามารถของสารดูดซับในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซมาเกาะติดบนพื้นผิว การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี

### 2.3.1 การดูดซับทางชีวภาพ (Biosorption)

Volesky 1990 ได้กล่าวถึงการศึกษาวิจัยของ Rothstein และคณะในปีค.ศ. 1948 พบว่ายูเรเนียมทำปฏิกิริยากับผิวเซลล์ยีสต์เกิดเป็นคอมเพล็กซ์ (Complex) กับหมู่ใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมของกลูโคส ต่อมาในปี ค.ศ.1949 Ruchhoff ได้นำเอาหลักการดังกล่าวไปใช้ในการดึงฟลูอีนียมจากน้ำโดยใช้กากตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ซึ่งพบว่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของแร่กัมมันตภาพรังสีถูกดูดเกาะกับผิวเซลล์ถูกดูดเกาะกับผิวเซลล์ได้ ซึ่งจากการศึกษาต่อมาพบว่าไม่เฉพาะเซลล์ที่มีชีวิตเท่านั้นที่จะดูดซับสารกัมมันตภาพรังสีแต่เซลล์ที่ตายแล้ว (Dead Cell) ก็ยังสามารถดูดเกาะสารติดผิวเซลล์ได้คล้ายกับเป็นตัวยัดเกาะทางชีวภาพ (Biosorbent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shumate and Strandberg (1985) ได้กล่าวไว้ว่าการดูดซับทางชีวภาพ หมายถึง การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี-กายภาพ ที่ไม่จำเพาะเจาะจงระหว่างโลหะหนักหรือสารกัมมันตภาพรังสีกับองค์ประกอบของผิวเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด

Gadd and White (1993) ได้กล่าวว่า การดูดซับทางชีวภาพ หมายถึง การดูดซับโดยชีวมวลทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต โดยกระบวนการทางกายภาพและเคมีเช่น การดูดซับหรือการแลกเปลี่ยนประจุ

Kapoor and Viraraghavan (1995) ได้กล่าวว่า การดูดซับทางชีวภาพ หมายถึง ความสามารถในการดูดกลืนโลหะหนักหรือสารกัมมันตภาพรังสี ออกจากสารละลายได้ในความสามารถต่าง ๆ กัน ของแบคทีเรีย รา ยีสต์และสาหร่าย ซึ่งเกิดจากสิ่งมีชีวิตเล็กๆ รวมทั้งคุณสมบัติเฉพาะของโลหะหนักหรือเกิดการเกาะกลุ่มรวมกันกับชีวมวลในลักษณะการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation)

ดังนั้นในความหมายของการดูดซับทางชีวภาพ หมายถึง การดูดกลืนโลหะหนัก หรือสารกัมมันตภาพรังสีโดยชีวมวลที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต โดยกระบวนการดูดซับโลหะหนักอาจเกิดได้จากกระบวนการดูดซับทางกายภาพ (Adsorption) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) การประสาน (Coordination) การคีเลตชัน (Chelation) การตกตะกอนสารอนินทรีย์ (Inorganic Micro Precipitation) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) เป็นต้น (Volesky, 1990)

### 2.3.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

เกิดจากการสร้างพันธะเคมีบนผิวของตัวดูดซับด้วยการให้และใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับความร้อนที่เกิดหรือต้องใช้ในปฏิกิริยาสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพ และการเกิดจะขึ้นกับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม องค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้ โดยการดูดซับจะเกิดบนพื้นผิวเฉพาะบางแห่งเท่านั้น ต่างจากการดูดซับทางกายภาพที่สามารถเกิดได้บนพื้นผิวทั้งหมด การดูดซับแบบนี้ไม่สามารถเกิดการคายการดูดซับเพราะองค์ประกอบที่ดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้

### 2.3.3 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

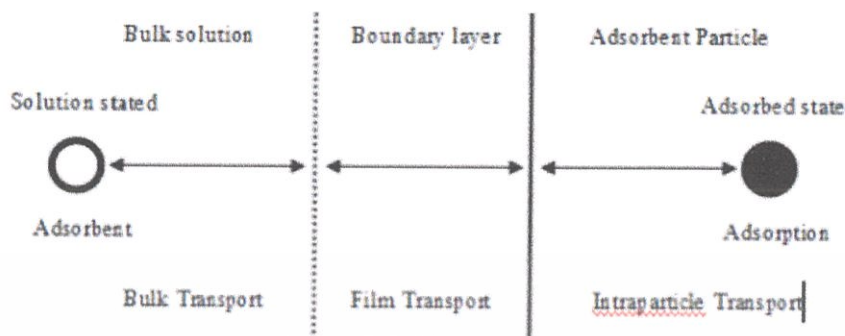
เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีค่ามากกว่าแรงตึงผิวระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ทำให้องค์ประกอบยึดติดแน่นบนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ แรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้วหรือกับสารที่มีขั้วและแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's force)

## 2.4 กลไกที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางชีวภาพ (Mechanism of Biosorption)

กลไกการดูดซับเกี่ยวข้องกับกลไกการเคลื่อนที่ของไอออนโลหะหนักจากสารละลายสู่ผิวของวัสดุการดูดซับ (Biosorbent) (Weber WJJR, 1985) ขั้นตอนแรกเป็นการเคลื่อนที่ของไอออนโลหะหนักจากสารละลายไปยังผิวน้ำที่ล้อมรอบวัสดุดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะมีการผสมหรือเกิดความปั่นป่วน (Gadd GM, 1988) ขั้นตอนที่สองเป็นการแพร่ไอออนโลหะหนักผ่านฟิล์มน้ำยั้งผิวของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับ และขั้นตอนที่สามเป็นการดูดซับระหว่างไอออนโลหะหนักกับแอคทีฟไซต์ (Active sites) บนผิววัสดุดูดซับซึ่งเกิดขึ้นเร็วมาก (Tsezos et al., 1988) ซึ่งสามารถสรุปกลไกดังกล่าวได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับทางชีวภาพ (McKay et al., 1993)

กระบวนการดูดซับโลหะหนักโดยชีวมวลที่ไม่มีชีวิตเป็นการดูดซับที่ไม่ขึ้นกับขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ ซึ่งการดูดซับโลหะหนักเกิดขึ้นบริเวณผิวของวัสดุดูดซับ โดยอาจเกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะหนักที่บริเวณหมู่เคมีต่างๆ เช่น การใช้กากส้ม อุ่น สับปะรด อินทผาลัม แอปเปิล แครอท ซึ่งเป็นของเสียจากขบวนการผลิตน้ำผลไม้มาทำการดูดซับโลหะหนัก พบว่า กลไกการดูดซับไอออนโลหะหนักเกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งกากของเสียเหล่านี้มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน (Functional groups) คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) ฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งมีอยู่ในเซลลูโลสเมตริก (Cellulosic matrix) หรือวัสดุที่เกี่ยวข้องกับเซลลูโลส เช่น ลิกนิน (Lignin) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ซึ่งประกอบไปด้วยสารชีวโมเลกุล (Biomolecules) เช่น โปรตีน (Proteins) พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) และเอกซ์ตราเซลลูลาร์โพลิเมอร์ (Extracellular polymers) มีโครงสร้างของซัลโฟนิล คาร์บอกซิล และฟอสเฟต ซึ่งมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะหนัก (Beveridge and Murray, 1980; Tobin et al., 1984; Barclay, 1991; Lee et al., 1998; Senthil Kumar et al., 2000; Nasernejad et al., 2005) หรืออาจมีหลายกระบวนการร่วมกัน เช่น การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) การดูดซับทางกายภาพ (Adsorption) การตกตะกอนของสารอนินทรีย์ (Inorganic micro precipitation) การคีเลตชัน (Chelation) และการประสาน (Coordination) เป็นต้น (Volesky, 1990)

## 2.5 วัสดุทางชีวภาพในการดูดซับโลหะหนัก

ประสิทธิภาพของการดูดซับ คือ การเตรียมสารดูดซับชีวภาพที่ดีโดยเริ่มจากการเลือกมวลชีวภาพชนิดต่างๆนำไปผ่านกรรมวิธี (Pretreatment) และให้ไม่มีการเคลื่อนที่ (Immobilization) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับโลหะหนัก โลหะหนักที่ถูกจับจะถูกเอาออกโดยกระบวนการคาย (Desorption process) และสารดูดซับชีวภาพนั้นจะสามารถนำกลับมาใช้ในกรรมวิธีต่อไปได้ การเลือกมวลชีวภาพสำหรับดูดซับโลหะหนักเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญมีมวลชีวภาพหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการทำความสะอาดน้ำทิ้งอุตสาหกรรม เช่น มวลชีวภาพจากกากตะกอนกัมมันต์ (Activated sludge) ของเสียรวมทั้งสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ รา สาหร่าย เปลือกกุ้งและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายทะเล นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่เหลือใช้จากการเกษตร เช่น ฟางข้าว เปลือกสับประรด เปลือกไข่ ฝักถั่ว ฯลฯ ที่สามารถใช้เป็นสารดูดซับได้

ปีค.ศ. 2002 Orlando และคณะได้ทำการศึกษาการเตรียมตัวแลกเปลี่ยนไอออนจากวัสดุธรรมชาติที่เหลือใช้โดยเตรียมสารดูดซับที่มีประจุซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนไนเตรทไอออน ( $\text{NO}_3^-$ ) ได้โดยนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆมาทำปฏิกิริยากับเอพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และไดเมทิลลามีน (Dimethylamine) ในไพริดีน (Pyridine) และเอ็นเอ็น-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (N,N-Dimethylformamide, DMF) ซึ่งตัวแลกเปลี่ยนที่มีประจุสามารถกำจัด  $\text{NO}_3^-$  และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการดูดซับ  $\text{NO}_3^-$  ระหว่างรำข้าว ชานอ้อย และเปลือกสนพบว่าชานอ้อยมีปริมาณดูดซับสูงสุด ซึ่งเมื่อทำการกำจัดสารจำพวกสารแทรก (Extractives) ลิกนิน (Lignin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ออกแล้วจะมีสมบัติการดูดซับ  $\text{NO}_3^-$  ได้ดีขึ้น เพราะสารจำพวกนี้มีผลต่อการดูดซับไอออนของประจุลบ

## 2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางชีวภาพ

ปัจจัยเป็นสิ่งที่ส่งผลต่อการดูดซับสามารถเพิ่มหรือลดประสิทธิภาพของดูดซับ ยกตัวอย่าง เช่น ค่าพีเอชอุณหภูมิ ระยะเวลา ความปั่นป่วน ขนาดของอนุภาคที่ใช้ดูดซับ เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาหรือทำการทดลองควรเลือกปัจจัยให้เหมาะสมกับสิ่งที่ศึกษาหรือทำการทดลอง

### 2.6.1 ขนาดของอนุภาค (Particle size)

ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ โดยอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับเมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน แต่ถ้าสารดูดซับนั้นมีรูพรุนอัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสารดูดซับ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับมากกว่าสารที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อย (ชัชฎาพร องอาจ, 2545)

### 2.6.2 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของสารประกอบที่เป็นกรดหรือเบสในการดูดซับ (สร้อยคณันพร, 2545) ซึ่งสารละลายที่มีค่าพีเอชมีค่าทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง ซึ่งตรงข้ามกับสารดูดซับที่มีพีเอชสูงจะให้การดูดซับมากขึ้น (ชัชฎาพร องอาจ, 2545)

### 2.6.3 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการดูดซับทางเคมีจะมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของความร้อนที่ช่วยเร่งสร้างพันธะเคมีให้เกิดเร็วขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าลดลง (ชัชฎาพร องอาจ, 2545)

### 2.6.4 ความปั่นป่วน (Turbulence)

ความปั่นป่วนที่เกิดจากการกวนน้ำหรือสารละลาย โดยอัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าระบบปั่นป่วนต่ำจะส่งผลให้ชั้นฟิล์มซึ่งล้อมรอบสารดูดซับมีความหนาเนื่องจากไม่ถูกรบกวนเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ (อดุลย์ ศรีพิลา, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.5 เวลา (Time)

ระยะเวลาที่ของเหลวสัมผัสกับตัวดูดซับ การดูดซับจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลาจนกระทั่งระบบเข้าสู่จุดสมดุล ซึ่งเป็นเวลาที่อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย ความสามารถในการดูดซับจะมีค่ามากที่สุดและมีค่าคงที่เมื่อเวลามากขึ้น (อดุลย์ ศรีพิลา, 2543)

เทียมชัย บัวลอย (2552) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมผัสในการดูดซับตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคโดยศึกษาที่ระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ผลการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดจะเพิ่มขึ้นจาก 64.87 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 30 นาที เป็น 82.23 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 150 นาที โดยจะค่อยๆเพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่หลังจาก 60 นาที นั้นแสดงว่าเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 60 นาที เนื่องจากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นก็จะมีไอออนตะกั่วเข้าไปเกาะที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นและมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ความจุบนผิวตัวดูดซับเริ่มลดลงกระทั่งคงที่

## 2.7 กรดซิตริก

กรดมะนาว หรือ กรดซิตริก (citric acid) มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxy-1,2,3-propane tricarboxylic acid ( $\text{HOC}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2\text{CO}_2\text{H}$ ) สำหรับกรดมะนาวผงไร้น้ำ (anhydrous,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ  $153^\circ\text{C}$ . ส่วนกรดมะนาวผงที่มีน้ำหนึ่งโมเลกุล (monohydrate,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$ ) มีจุดหลอมเหลวที่  $100^\circ\text{C}$ . กรดมะนาวมีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้ มีรสเปรี้ยว และมีกลิ่นหอม

การผลิตกรดมะนาว

ทำได้โดยใช้วัตถุดิบจำพวกน้ำตาลหรือแป้งและเติมเชื้อราหรือยีสต์ที่สามารถผลิตกรดมะนาวได้ ทั้งไว้ที่อุณหภูมิและเวลา ที่เหมาะสมจะเกิดกรดมะนาวในอาหารที่เติมเชื้อ การผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณกรดมะนาวสูงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่

1. ประสิทธิภาพของเชื้อราหรือยีสต์ ที่ใช้ในการผลิตกรดมะนาว
2. ความเหมาะสมของวัตถุดิบต่อเชื้อราหรือยีสต์
3. ชนิดเกลืออนินทรีย์ที่เติมลงในวัตถุดิบ
4. ความเป็นกรดต่าง
5. ปริมาณออกซิเจน
6. อุณหภูมิ

ซึ่งปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นจะต้องมีความสัมพันธ์กันจึงจะสามารถผลิตกรดมะนาวได้ ประสิทธิภาพสูง

การผลิตกรดมะนาวมี 2 วิธี คือ การผลิตกรดมะนาวโดยการเลี้ยงเชื้อบนภาคหรือพื้น (solid state) หรือโดยการเลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว (liquid culture หรือ submerged culture)

เชื้อราที่ใช้ในการผลิตกรดมะนาว ได้แก่ *Aspergillusniger*, *A. clavatus*, *A. foetidus*, *Penicilliumluteum*, *P.citrinum*, *P. janthinellum*, *P. restrictum*, *Paecilomycesdivaricatum*, *Mucorpiriformis* และ *Mucor* sp.

เชื้อยีสต์ที่ใช้ในการผลิตกรดมะนาว ได้แก่ *Candida albicans*, *C. zeylanoides*, *C. guilliermondii* และ *Dekkeralambicus* เป็นต้น

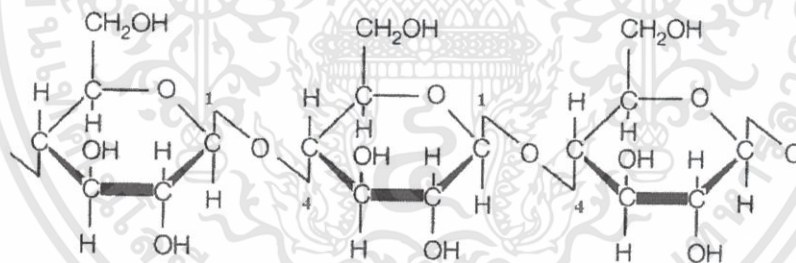
ประโยชน์ของกรดมะนาวนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

1. อุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นส่วนผสมในการทำลูกกวาด น้ำหวาน น้ำผลไม้ น้ำอัดลม แยม
2. อุตสาหกรรมการผลิตยา ใช้เติมลงในยาบางชนิด เพื่อควบคุมความเป็นกรดต่าง และทำให้เกิดกลิ่น รสที่ดี
3. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้เป็นส่วนผสมของครีมนวดผม โลชั่น ซึ่งกรดมะนาวจะควบคุมระดับความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์ และยังมีผลทำให้เกิดความแวววาวและความอ่อนนุ่มต่อการใช้
4. อุตสาหกรรมอื่นๆ ใช้เป็นส่วนผสมในน้ำยาขัดโลหะ น้ำยาล้างสนิม เป็นต้น (ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ, 2553)

## 2.8 โครงสร้างของพืช

### 2.8.1. เซลลูโลส(cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่มีมากในผนังเซลล์ของพืช โครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบไม่มีกิ่งก้านสาขาประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสหลายหน่วย มาต่อกันเป็นเส้นยาวด้วยพันธะแบบ  $\beta(1-4)$ -glycosidic (รูปที่ 2.2) เซลลูโลสจะไม่ละลายด้วยน้ำตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายต่างอ่อนแต่จะละลายในกรดและต่างแก่เมื่อไฮโดรไลซิสสลายโดยสมบูรณ์ด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้น้ำตาลกลูโคสอย่างเดียวแต่ถ้าการไฮโดรไลซิสสลายตัวไม่สมบูรณ์จะได้เซลโลไบโอสซึ่งเป็นไดแซ็กคาไรด์และไดโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Chemistryland, 2010)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีเซลลูโลส (Chemistryland, 2010)

สายพอลิเมอร์แต่ละสายเรียงขนานกันและสร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันซึ่งอาจจะสูงถึง 3 พันธะต่อหน่วยกลูโคสแต่เมื่อรวมกันหลายสายจะเรียกว่าไมโครไฟบริล (microfibril) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบโครงผลึกสามมิติส่วนที่เป็นเซลลูโลสโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) นั้นจะมีความคงทนต่อเอนไซม์และกรดมากส่วนที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนแต่มีการจัดเรียงตัวแบบสุ่มจะเรียกว่าเซลลูโลสแบบหลวม (amorphous) เซลลูโลสธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นเซลลูโลสแบบผลึกหรือโครงสร้างแบบระเบียบซึ่งเรียงแน่นเป็นมัดไมโครไฟบริลมีความแข็งแรงและไม่ละลายน้ำหรือสารอินทรีย์ใดๆ ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามปริมาณการละลายในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. แอลฟาเซลลูโลส คือ เซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

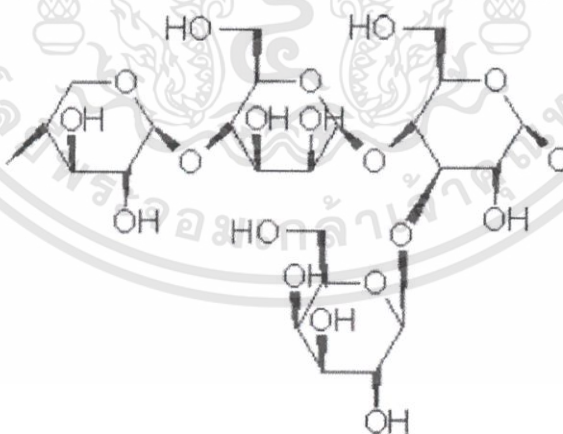
2. ปีต้าเซลลูโลส คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิห้องแต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด

3. แกมมาเซลลูโลส คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายกรดแต่สามารถตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์ (วารณีและวิชัย, 2546)

## 2.8.2. เฮมิเซลลูโลส(hemicelluloses)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตอสัญฐาน (Amorphouspolymericcarbohydrate) พบมากในพืชมะพร้าวและพืชมะพร้าว (รูปที่ 2.3) เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 หรือ 6 โมเลกุลน้ำตาลที่ประกอบอยู่ภายในเฮมิเซลลูโลส ได้แก่ ไซโลส, อะราบินอส, กลูโคส, กาแลกโตส และแมนโนส เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นพหุเฮเทอโรไกลแคน (Heteroglycan) คือประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆกัน ตั้งแต่ 2-4 ชนิด ส่วนเฮมิเซลลูโลสชนิดที่ประกอบด้วยน้ำตาลชนิดเดียว เรียกว่า โฮโมไกลแคน (Homoglycan) นั้นจะพบเป็นส่วนน้อยซึ่งชนิดของน้ำตาลและปริมาณที่พบจะขึ้นอยู่กับชนิด และแหล่งของพืชเฮมิเซลลูโลสละลายในสารละลายที่เป็นด่างเจือจางปกติจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลสลิกนิน และสารประกอบเพกทินในผนังเซลล์ของพืชโดยส่วนใหญ่แล้วจะพบเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์

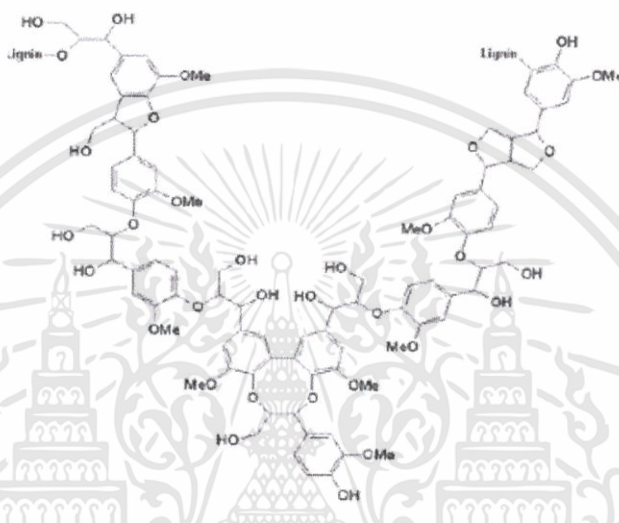
สายพอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์หลายชนิดปนกันคือเพนโทแซนส่วนใหญ่เป็นไซแลน และอะราบินแนนเมื่อนำไปไฮโดรไลซ์จะได้น้ำตาลไซโลส และอะราบินโนสไซแลนเป็นสารที่มีอยู่ในเฮมิเซลลูโลสมากกว่าสารอื่นเฮกโซแซนส่วนใหญ่เป็นแมนแนนกาแลกแทน และกลูแคนเมื่อถูกไฮโดรไลซ์จะได้น้ำตาลแมนโนสกาแลกโทส และกลูโคสตามลำดับ พอลิโพรไนด์ส่วนมากเป็นสารประกอบของกรดพอลิโพรไนด์และยังพบกรดโพรไนด์ปนอยู่ด้วยที่สำคัญคือเฮกซูลอนิก (วารณีและวิชัย, 2546)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส (Princeton, 2010)

### 2.8.3. ลิกนิน (lignin)

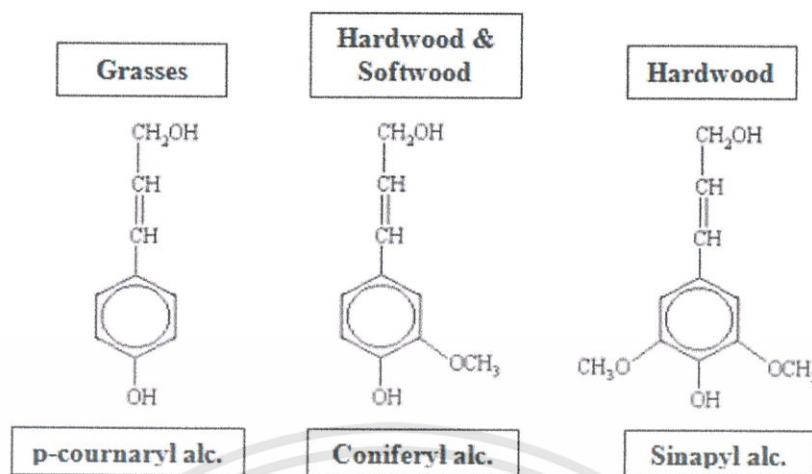
ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจนและออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติกลิกนินแสดงในรูปที่ 2.4 ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น ในเอทานอลหรือเมทานอลที่ร้อน และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่นเพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทานเมื่อพืชตายลิกนิน จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ลิกเนสหรือลิกนินเนสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในรา



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน (Plantphys, 2010)

ปกติลิกนินจะเกาะกันอยู่ในชั้นระหว่างเส้นใย (middle lamella) ซึ่งทำหน้าที่ยึดเกาะเส้นใยเข้าด้วยกัน และมีบางส่วนผสมอยู่ในเส้นใยด้วยนอกจากนี้ยังพบในโครงสร้างของเซลล์พืชบริเวณรอบๆ เซลลูโลสทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันเซลล์จากคาร์โบไฮเดรตลิกนินจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของปัจจุบันยังไม่สามารถแยกลิกนินบริสุทธิ์ออกมาได้ตั้งนั้น การศึกษาถึงโครงสร้างของลิกนินให้ชัดเจนจึงไม่อาจกระทำได้แต่มีผู้ศึกษาสูตรเคมีซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจนและออกซิเจนซึ่งวิเคราะห์ได้เป็น  $C_9H_{8.83}O_{2.37}(OCH_3)_{0.96}$  โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 3,000–30,000 (วรณีและวิชัย, 2546)

หน่วยย่อยของลิกนิน หรือ Monolignols มีรูปแบบหลักๆที่พบในธรรมชาติ 3 โมโนเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.5 โมโนเมอร์ลิกนินชนิด p-coumaryl alcohol พบมากในพืชตระกูลหญ้าส่วน coniferyl alcohol เป็นโมโนเมอร์ลิกนินที่มีมากในพืชใบแคบ (softwood) ด้านไม้ใบกว้าง (hardwood) พบว่ามีทั้ง coniferyl และ sinapyl alcohols เป็นโครงสร้างหลักในการรวมตัวเป็นลิกนินโดยในไม้ใบแคบมีลิกนินอยู่ 26-32 เปอร์เซ็นต์และไม้ใบกว้างมีลิกนินอยู่ประมาณ 20-28 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมโนเมอร์ของลิกนิน (Noomjapan, 2010)

ลิกนินสามารถนำไปใช้ในการผลิตเป็นกาวไม้ส่วนผสมในคอนกรีตส่วนผสมในอาหารสัตว์หรือตัวเชื่อมต่อบนอาหารสัตว์สารควบคุมฝุ่นในท้องถนนและใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นต้น

## 2.9 ไยมะพร้าว



รูปที่ 2.6 มะพร้าวและใยมะพร้าว (เดลินิวส์ออนไลน์, 2556)

มะพร้าว เป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูลปาล์ม มะพร้าวเป็นพืชซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในหลายทาง เช่น น้ำและเนื้อมะพร้าวอ่อนใช้รับประทาน เนื้อในผลแก่นำไปขูดและคั้นทำกะทิ กะล่านำไปประดิษฐ์สิ่งของต่างๆ เช่น กระบาย โคมไฟ ฯลฯ นอกจากนี้มะพร้าวจัดเป็นพรรณไม้มงคลชนิดหนึ่ง ตามตำราพรหมชาติฉบับหลวง ได้กำหนดให้ปลูกมะพร้าวไว้ทางทิศตะวันออกของบ้านเพื่อความ เป็นสิริมงคล

### ลักษณะทั่วไป

มะพร้าว เป็นพืชยืนต้น ใบมีลักษณะเป็นใบประกอบแบบขนนก ผลประกอบด้วยเอพิคาร์ป (Epicarp) คือเปลือกนอก ถัดไปข้างในจะเป็นมีโซคาร์ป (Mesocarp) หรือใยมะพร้าว ถัดไปข้างในอีกจะเป็นส่วนของเอนโดคาร์ป (Endocarp) หรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ำอยู่ 3 รูสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งอก ถัดจากส่วนเอนโดคาร์ปเข้าไปจะเป็นส่วนเอนโดสเปิร์ม หรือที่เรียกว่าเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมดขณะที่มะพร้าวยังอ่อนชั้นเอนโดสเปิร์ม (เนื้อมะพร้าว) ภายในผลมีลักษณะบางและอ่อนนุ่ม ภายในมีน้ำมะพร้าว ซึ่งในระยะนี้เรามักสอยเอามะพร้าวลงมารับประทานน้ำและเนื้อ เมื่อมะพร้าวแก่ ซึ่งสังเกตได้จากการที่เปลือกนอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ชั้นเอนโดสเปิร์มก็จะหนาและแข็งขึ้น จนในที่สุดมะพร้าวก็นั่นลงจากต้น

### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* L. อยู่ในตระกูล *Palmae* มีระบบรากเป็นรากฝอยมีขนาดเท่าๆกันแผ่กระจายออกรอบต้น

ลำต้น มีลำต้นเดี่ยว ไม่แตกแขนง มีรอยแผลจากการหลุดร่วงของใบตลอดลำต้น สามารถคำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้จากรอยแผลนี้ คือ ในปีหนึ่งมะพร้าวจะสร้างใบประมาณ 12-14 ใบ ดังนั้นใน 1 ปี จะมีรอยแผลที่ลำต้น 12-14 รอยแผล

ใบ เป็นใบประกอบ ออกอยู่ตามส่วนของลำต้น ประกอบด้วยก้านทาง (*Rachis*) มีขนาดใหญ่และยาว และมีใบย่อย (*Leaflet*) บนก้านทางประมาณ 200-250 ใบ

ดอก ออกเป็นช่อชนิดพานิกิล มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อเดียวกัน ดอกมีกลีบดอก 6 กลีบ สีครีมหรือสีเหลืองนวล ไม่มีก้านดอกย่อยดอกตัวเมียจะมีกลีบดอกหนาและแข็งกว่ากลีบดอกตัวผู้

ผล มะพร้าวเป็นชนิดไฟรัสตรูป (*Fibrous drupe*) เรียกว่า นัท (*Nut*) มีเปลือก 3 ชั้นคือ

1. เปลือกชั้นนอก (*Exocarp*) เป็นเส้นใยที่เหนียวและแข็งเมื่อแก่อาจมีสีเขียวแดงเหลืองหรือน้ำตาล
2. เปลือกชั้นกลาง (*Mesocarp*) มีลักษณะเป็นเส้นใยมีความหนาพอประมาณ
3. เปลือกชั้นใน (*Endocarp*) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกกันว่า กะลา (*Shell*)

เมล็ด (*Seed of kernel*) คือ เนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดเป็นช่อกลางขณะผลอ่อนจะมีน้ำอยู่เต็ม ผลแก่น้ำมะพร้าวจะแห้งไปบางส่วน

พันธุ์ มะพร้าวเป็นพืชผสมข้ามพันธุ์ แต่ละต้นจึงไม่เป็นพันธุ์แท้ อาศัยหลักทางการผสมพันธุ์ที่เป็นไปโดยธรรมชาติ อาจแบ่งมะพร้าวออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทต้นเตี้ยและประเภทต้นสูง

1. ประเภทต้นเตี้ย มะพร้าวประเภทนี้ จะมีการผสมตัวเองค่อนข้างสูง จึงมักให้ผลดกและไม่ค่อยกลายพันธุ์ ส่วนใหญ่นิยมปลูกไว้เพื่อรับประทานผลอ่อน เพราะในขณะที่ยังไม่แก่ อายุประมาณ 4 เดือน เนื้อมีลักษณะอ่อนนุ่ม และน้ำมีรสหวาน บางพันธุ์น้ำมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม

ลักษณะทั่วไปของประเภทต้นเตี้ย ลำต้นเล็ก โคนต้นไม่มีสะเก็ด ต้นเตี้ย โตเต็มที่สูงประมาณ 12 เมตร ทางใบสั้น ถ้ามีการดูแลปานกลางจะเริ่มให้ผลเมื่ออายุ 3-4 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 35-40 ปี มะพร้าวประเภทต้นเตี้ยมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น เปลือกสีเขียวเหลือง นวล (สีงาช้าง) น้ำตาลแดง หรือสีส้ม น้ำมีรสหวาน มีกลิ่นหอม มะพร้าวต้นเตี้ยทุกพันธุ์จะมีผลขนาดเล็ก เมื่อผลแก่มีเนื้อบางและน้อย ซึ่งได้แก่พันธุ์ นกคุ้ม หมูสีเขี้ยว หมูสีเหลือง หรือนาฬิกา มะพร้าวเตี้ยน้ำหอม และมะพร้าวไฟ แต่ปัจจุบันมะพร้าวน้ำหอมกำลังเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง ที่นิยมใช้ในการบริโภคสดและส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ ตลอดจนใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

2. ประเภทต้นสูง ตามปกติมะพร้าวต้นสูงจะผสมข้ามพันธุ์ คือ ในแต่ละช่อดอก (จั่น) หนึ่งๆ ดอกตัวผู้จะค่อยๆทยอยบาน และร่วงหล่นไปหมดก่อนที่ดอกตัวเมียในจั่นนั้นจะเริ่มบาน จึงไม่มีโอกาสผสมตัวเอง มะพร้าวประเภทนี้เป็นมะพร้าวเศรษฐกิจส่วนใหญ่ปลูกเป็นสวนอาชีพ เพื่อใช้เนื่องจากผลแก่ไปประกอบอาหาร หรือเพื่อทำมะพร้าวแห้งใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช

ลักษณะทั่วไปของประเภทต้นสูง ลำต้นใหญ่ โคนต้นมีสะเก็ดใหญ่ ต้นสูง โตเต็มที่สูงประมาณ 18 เมตร ทางใบใหญ่และยาว ถ้ามีการดูแลปานกลางจะเริ่มให้ผลเมื่ออายุ 5-6 ปี อายุยืนให้ผลผลิตนานประมาณ 80 ปี มะพร้าวต้นสูงมีผลโตเนื้อหนาปริมาณเนื้อมาก มีลักษณะภายนอกหลายอย่างที่แตกต่างกัน เช่น ผลขนาดกลาง ขนาดใหญ่ รูปผลกลม ผลรี บางพันธุ์เปลือกมีลักษณะพิเศษ คือ ในขณะที่ผลยังไม่แก่ เปลือกตอนส่วนหัวจะมีรสหวานใช้รับประทานได้ จึงมีชื่อเรียกต่างๆ กัน ได้แก่ พันธุ์กะโหลก มะพร้าวใหญ่ มะพร้าวกลาง ปากจก ทะลายร้อย เปลือกหวานและมะพร้าว มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมแม้ว่ามะพร้าวพื้นเมืองที่เกษตรกรปลูกกันมาแต่ดั้งเดิม จะมีลักษณะดีหลายอย่าง เช่น มีขนาดผลค่อนข้างโต และทนทานต่อสภาพอากาศแล้งได้ดี แต่ในวงการอุตสาหกรรมมะพร้าวในปัจจุบันได้พัฒนาทางด้านคุณภาพมะพร้าวมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมัน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร กรมวิชาการเกษตรมีหน้าที่รับผิดชอบด้านวิจัยและพัฒนามะพร้าวได้ผลิตมะพร้าวพันธุ์ลูกผสม ซึ่งได้ผ่านการรับรองพันธุ์ออกมาแล้ว 2 พันธุ์ ดังนี้

1.) พันธุ์สวีลูกผสม 1 (Sawi Hybrid No.1) เป็นมะพร้าวพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างมะพร้าวพันธุ์มลายูสีเหลืองต้นเตี้ย x เวสต์อ์ฟริกกันต้นสูง (MYD x WAT) ลักษณะเด่นของมะพร้าวพันธุ์นี้คือมีอายุการตกผลเร็ว สามารถเก็บผลผลิตได้ในปีที่ 5 ผลผลิตเฉลี่ย 2,781 ผลต่อไร่ หรือคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 566 กก.ต่อไร่ จากจำนวนมะพร้าว 22 ต้นต่อไร่ เนื้อมะพร้าวแห้งมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงถึง 64 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าวมาก

2.) พันธุ์ชุมพรลูกผสม 60-1 (Chumphon Hybrid 60-1) เป็นมะพร้าวลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์เวสต์อ์ฟริกกันต้นสูง x ไทยต้นสูง สามารถเก็บผลผลิตได้ในปีที่ 5 หลังจากปลูก ขนาดผลมีตั้งแต่ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ผลผลิตเฉลี่ย 2,257 ผลต่อไร่ หรือคิดเป็นน้ำหนักมะพร้าวแห้งสูงถึง 628 กก.ต่อไร่ เนื้อมะพร้าวแห้งมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง 63 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากขนาดผลของมะพร้าวพันธุ์นี้ค่อนข้างโตกว่าพันธุ์สวีลูกผสม 1 จึงสามารถจำหน่ายได้ทั้งผลสดและในรูปมะพร้าวแห้งส่งโรงงานสกัดน้ำมัน มะพร้าวลูกผสมทั้ง 2 พันธุ์ ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองเกือบ 2 เท่า กล่าวคือ พันธุ์ไทยให้ผลผลิต 1,084 ผลต่อไร่ คิดเป็นผลผลิตเนื้อมะพร้าวแห้ง 374 กก.ต่อไร่ และมีปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมัน 59-60 เปอร์เซ็นต์

## ประโยชน์

**น้ำมะพร้าว** ใช้เป็นเครื่องต้มเกลือแร่ได้ เนื่องจากอุดมไปด้วยโพแทสเซียม นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติปลอดเชื้อโรค และเป็นสารละลายไอโซโทนิก ซึ่งด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำน้ำมะพร้าวไปใช้ฉีดเข้าหลอดเลือดดำ ในผู้ป่วยที่มีอาการขาดน้ำหรือปริมาณเลือดลดผิดปกติได้ น้ำมะพร้าวสามารถนำไปทำวุ้นมะพร้าวได้ โดยการเจือจกรก่อนเล็กน้อยลงในน้ำมะพร้าว

**เนื้อมะพร้าวแก่** นำไปทำกะทิได้ โดยการขูดเนื้อในเป็นเศษเล็กๆ แล้วบีบเอาน้ำกะทิออก กากมะพร้าว ที่เหลือจากการคั้นกะทิ ยังสามารถนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ได้

**ยอดอ่อนของมะพร้าว** หรือเรียกอีกชื่อว่า หัวใจมะพร้าว (Coconut's heart) สามารถนำไปใช้ทำอาหารได้ ซึ่งยอดอ่อนมีราคาแพงมาก เพราะการเก็บยอดอ่อนทำให้ต้นมะพร้าวตาย ด้วยเหตุนี้จึงมักเรียกย้ายยอดอ่อนมะพร้าวว่า “สลัดเจ้าสัว” (Millionaire's salad)

**ใยมะพร้าว** นำไปใช้ยัดฟูก ทำเสื่อ หรือนำไปใช้ในการเกษตร

**น้ำมันมะพร้าว** ได้จากการบีบหรือดื่มหากมะพร้าวสด นำไปใช้ในการปรุงอาหารหรือนำไปทำเครื่องสำอางก็ได้ และในปัจจุบันยังมีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวอีกด้วย

**กะลามะพร้าว** นำไปใช้ทำสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ เช่น กระบวย โคมไฟ กระดุม ซอู้ ฯลฯ

**ก้านใบ หรือทางมะพร้าว** ใช้ทำไม้กวาดทางมะพร้าว

**จั่นมะพร้าว (ช่อดอกมะพร้าว)** ให้น้ำตาล

**จาวมะพร้าว** ใช้นำมาเป็นอาหารได้ ในจาวมะพร้าวมีฮอร์โมนออกซิน และฮอร์โมนอื่นๆแต่มีฮอร์โมนออกซินปริมาณมากที่สุด ซึ่งเมื่อนำไปคั้น และนำน้ำที่ได้จากจาวมะพร้าวไปรดต้นพืชจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้

## 2.10 การปรับปรุงคุณภาพ

1. การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Pretreatment) เป็นการลดขนาดของวัตถุดิบโดยวิธีตัด การบด เพื่อลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส ทำให้เส้นใยเซลลูโลสแตกออกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาให้มากขึ้น การบดสามารถทำลายความเป็นผลึกของเซลลูโลส และเพิ่มการย่อยสลายให้ง่ายขึ้น

นฤมล (2549) ได้ทำการปรับปรุงสภาพกากสับรด ในส่วนที่เป็นเศษเนื้อสับปรดจากโรงงาน 3 วิธี คือ การโม่จนได้ขนาดอนุภาคประมาณ 250 ไมครอน การอบไอน้ำภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการโม่ควบคู่กับการอบไอน้ำ จากการทดลองพบว่าการปรับสภาพโดยการโม่ควบคู่กับการอบไอน้ำจะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด

2. การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Pretreatment) จะใช้สารละลายกรดเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยเฮมิเซลลูโลส เพราะเฮมิเซลลูโลสสามารถย่อยสลายในสารละลายกรดได้ดีกว่าเซลลูโลสหรือใช้สารละลายเบสเพื่อเพิ่มปริมาณการละลายของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เช่น การใช้สารประกอบอัลคาไลน์ (Alkali Pretreatment) การใช้แอมโมเนีย (Ammonia Pretreatment) การใช้กรด (Acid Pretreatment) เป็นต้น

ระวีวรรณ (2538) ได้ทำการปรับสภาพฟางข้าวขั้นต้นโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะทำให้การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเอนไซม์เซลลูโลสเกิดได้ดีขึ้น

3. การปรับปรุงสภาพด้วยวิธีทางเคมีฟิสิกส์ (Physico-Chemical Pretreatment) เป็นวิธีที่ใช้ทางกายภาพร่วมกับการใช้สารเคมี เช่น การปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ในสภาวะความดันสูง พบว่าประสิทธิภาพในการปรับสภาพฟางข้าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อนที่เพิ่มขึ้น (Han&Callihan, 1974)

4. การปรับสภาพด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological Pretreatment) เป็นการใช้น้ำหมักจากจุลินทรีย์ ในการเปลี่ยนโครงสร้างที่ซับซ้อนของเซลลูโลสให้อยู่ในรูปไซโตรงนอกจากนี้ยังช่วยลดความเป็นผลึกอีกด้วย

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรอุมา (2541) ได้ทำการศึกษาวิจัยความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้เบื้องต้นกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์ 80/80 ในการวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน 3 ขั้น คือ 1. การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ และศึกษา ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก 2. พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก พร้อมทั้งคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน 3. ทดลองสอนเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ ซึ่งแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอนคือ นักเรียนโรงเรียนโคกเกาะเทียมวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี จำนวน 30 คน ทำการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ วัดผลการเรียนรู้จากคำถามท้ายการทดลอง แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

ผลการวิจัยปรากฏว่า การศึกษาการใช้วัสดุธรรมชาติ คือ แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา ในการดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำ พบว่า วัสดุธรรมชาติทุกชนิดสามารถดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลได้ ซึ่งความสามารถในการดูดซับโลหะหนักขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุธรรมชาติและสามารถตรวจสอบความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะ ทองแดงและนิกเกิลได้ โดยการเทียบสีของสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้ จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และคู่มือครู ประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับ โลหะหนักได้ 7 บท ดังนี้บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นบทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำบทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโต ของเมล็ดถั่วเขียวบทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยการทำให้เกิดตะกอนบทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติบทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการเทียบสีบทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการเทียบสี โดยค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีมาก 3. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์กำหนด คือ 80.11/80.27%

**ปิยาภรณ์ (2544)** ได้ทำการศึกษาวิจัยการกำจัดโลหะหนักนิกเกิลและโลหะหนักตะกั่วโดยใช้ แหนเปิดใหญ่ โดยใช้สารละลายโลหะหนักสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ คือ 1, 2, 4 และ 8 มิลลิกรัม ต่อลิตร โดยเปลี่ยนสารละลายที่ใช้ในการทดลองใหม่ ในวันที่ 2, 4, 6 และ 8 การทดลองสิ้นสุดในวันที่ 10 นับจากวันเริ่มทำการทดลอง

ผลการวิจัยพบว่า เเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดโลหะหนักนิกเกิลและโลหะหนักตะกั่วที่ทุกความเข้มข้น จะสูงสุดใน 2 วันแรก (58-80% และ 68.25-91% ตามลำดับ) และเมื่อเวลาที่ใช้ในการทดลอง และความเข้มข้นของโลหะหนักนิกเกิลและโลหะหนักตะกั่วเพิ่มขึ้น เเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดโลหะหนักนิกเกิลและโลหะหนักตะกั่วโดยแหนเปิดใหญ่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดโลหะหนักตะกั่วสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดโลหะหนักนิกเกิล แสดงให้เห็นว่าแหนเปิดใหญ่สามารถที่จะสะสมโลหะหนักตะกั่วได้มากกว่าโลหะหนักนิกเกิล ผลการทดลอง เเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดโลหะหนักทั้งสองนี้สอดคล้องกับ metal concentration factor (MCF) ที่ได้จากการทดลอง ในการนี้ได้มีการศึกษาผลของโลหะหนักต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยดูจากน้ำหนักสดด้วย หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสองเพิ่มขึ้น น้ำหนักสดของแหนเปิดใหญ่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยน้ำหนักสดของแหนเปิดใหญ่ในสารละลายโลหะหนักนิกเกิลน้อยกว่าน้ำหนักสดในสารละลายโลหะหนักตะกั่ว แสดงให้เห็นว่าสารละลายโลหะหนักนิกเกิลลดการเจริญเติบโตของแหนเปิดใหญ่มากกว่าสารละลายโลหะหนักตะกั่ว นอกจากนี้ยังศึกษาการใช้แหนเปิดใหญ่อบแห้งเป็นตัวดูดซับในการดูดซับสารละลายสีประจุบวก (เมทิลลิ้นบลู) ด้วย โดยได้มีการทดลองต่างๆ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ เช่น ปริมาณตัวดูดซับ, สภาพความเป็นกรด-เบส (pH) และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ โดยทำการทดลองแบบ batch ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น เเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสีก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ในส่วนของสภาพความเป็นกรด-เบส (pH) พบว่าที่ pH 2.0 การดูดซับไม่ค่อยจะได้ผลนักเมื่อเทียบกับ pH อื่นๆ ซึ่งได้ผลดีกว่าค่อนข้างมาก การวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้น (3.0-11.0) ความเข้มข้นของสีที่เหลืออยู่ภายหลังการดูดซับไม่ต่างกัน ( $P > 0.05$ ) การศึกษาเวลาในการดูดซับพบว่าขึ้นอยู่กับความเข้มข้นตั้งต้นของสารละลายสีและกระบวนการนี้เป็น first rate kinetics

**เรืองศักดิ์ (2548)** ได้ทำการศึกษาวิจัยการใช้สารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลังในการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียสังเคราะห์ สารดูดซับที่ใช้ในการวิจัยมีวิธีการเตรียมต่างกัน 2 วิธีวิธีที่ 1 คือกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมงแล้วแช่ในสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  (สารดูดซับแบบที่ 2) และวิธีที่ 2 กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ที่อุณหภูมิ 350°C เวลา 3 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำร้อน (สารดูดซับแบบที่ 3) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ขายเป็นการค้าซึ่งถูกใช้เปรียบเทียบ เพื่อหาลักษณะทางเคมี-กายภาพที่แตกต่างกันของสารดูดซับทั้ง 3 แบบ สารดูดซับแต่ละตัวใช้น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเพื่อหาสภาวะการกำจัดทองแดงที่เหมาะสม โดยปรับเปลี่ยนค่าปริมาณของสารดูดซับ พีเอชเวลาสัมผัส เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงที่ดีที่สุดของสารดูดซับ โดยการทดสอบไอโซเทอมของสารดูดซับ และทำการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ความยาว 1 เมตร โดยใช้การป้อนน้ำเสียแบบไหลลง ที่มีชั้นสารดูดซับ 0.30 เมตรและมีอัตราการไหล 0.912, 0.456 และ 0.304 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

จากผลการทดลอง สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมสารดูดซับ คือ สารดูดซับแบบที่ 2 ได้ผลผลิตกัมมันต์สารดูดซับร้อยละ 36.04 ร้อยละของเก่า 4.80 ค่าการดูดซับไอโอดีน 460 mg/g พื้นที่ผิว 889.48  $\text{m}^2/\text{g}$  ปริมาตรโพรง 0.6044  $\text{cm}^3/\text{g}$  และขนาดโพรงเฉลี่ย 27.18 °จากการทดลองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียพบว่า ที่พีเอช 4 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงสูงสุดเท่ากับร้อยละ 95 เวลาสัมผัสที่เหมาะสม 8 ชั่วโมง จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับของสารดูดซับ สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์ม ฟรุนด์ลิช และความสามารถในการดูดซับทองแดงสูงสุดคือ 20.42 mgCu/g ของสารดูดซับ ผลการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงด้วยคอลัมน์ที่ป้อนน้ำเสียแบบไหลลงที่ ความลึกของคอลัมน์ 30 ซม. ความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้น 10 mg/l พบว่าที่จุดสิ้นสุดสภาพมีน้ำเสียที่ กรองผ่านสารดูดซับแต่ละคอลัมน์ ปริมาตรเท่ากับคือ 749, 957 และ 1,048 เท่าของปริมาตรคอลัมน์ ตามลำดับ ที่เวลาสัมผัสที่เหมาะสม 30 นาที

**จิตตรา (2551)** งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มปริมาณ ฟอสฟอรัสในฟางข้าวและขานอ้อยที่ผ่านปฏิกิริยาฟอสฟอไรเลชันเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ เซลลูโลสฟอสเฟตที่เตรียมได้จากฟางข้าวและขานอ้อยในการดูดซับโลหะหนักและเพื่อจัดการอบรม เจริญปฏิบัติกรให้ความรู้แก่นักศึกษาในเรื่องการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียด้วยเซลลูโลสฟอสเฟต

ผลการวิจัยพบว่าปริมาณฟอสเฟตในฟางข้าวและขานอ้อยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และเวลาที่ เพิ่มขึ้นในการทำปฏิกิริยาฟอสฟอไรเลชัน และเมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว และ แคดเมียมในน้ำเสียที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ และน้ำเสียจากโรงงานพบว่าเซลลูโลสฟอสเฟตจาก ฟางข้าว และขานอ้อยมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าแคดเมียม และเซลลูโลสฟอสเฟต จากฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้ดีกว่าเซลลูโลสฟอสเฟตจากขานอ้อย ผลการจัดอบรมเจริญปฏิบัติกรพบว่าคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบวัดความรู้ก่อน และหลังการอบรม ของผู้เข้ารับการอบรมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่าการอบรมทำให้ผู้เข้าอบรมมีความรู้เกี่ยวกับการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียเพิ่มขึ้น และมีความพึงพอใจในการอบรม อยู่ในระดับมากและทักษะพฤติกรรมกรทดลองอยู่ในระดับมาก

**นภรัตน์ และดวงเดือน (2555)** ได้ทำการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม สังกะสีของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่าถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพด 1.0 กรัม ถ่านชาร์ 2.5 กรัม และขังข้าวโพด 5.0 กรัม มีความสามารถในการดูดซับคิดเป็นร้อยละ 81, 71 และ 69 ตามลำดับ จากนั้นได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพด พบว่า วิธีการเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มี ประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดทำได้โดยการแช่ขังข้าวโพดในสารละลายซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) เพาที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ได้ร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 24 โดยน้ำหนักถ่านกัม มันต์ขนาด 1 มิลลิเมตร มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูงสุด 579 ตารางเมตรต่อกรัม

ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมธรรมชาติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้พบว่าถ่านกัม มันต์ 10 กรัม สามารถดูดซับสีย้อมได้อย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก ทั้งนี้มีค่าร้อยละของการดูดซับ เท่ากับ 81 เมื่อปรับ pH ของสารละลายก่อนการดูดซับเป็น 10 และใช้เวลาในการดูดซับ 120 นาที ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงและเหล็กของถ่านกัมมันต์พบว่าอัตราส่วนของปริมาณ ถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณโลหะไอออน (C/M) ที่ทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับมากกว่าร้อยละ 90 สำหรับทองแดงและเหล็กมีค่าเท่ากับ 13,333 และ 6,667 ตามลำดับ ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์ 5 กรัม ขนาด 1 มิลลิเมตร สามารถดูดซับทองแดง 0.125 มิลลิกรัมได้อย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก ในขณะที่ เหล็ก 0.25 มิลลิกรัมจะถูกดูดซับอย่างรวดเร็วใน 10 นาทีโดยมีค่าร้อยละของการดูดซับทองแดงและ เหล็กเท่ากับ 80 และ 57 ตามลำดับ เมื่อทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีจากการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการดูดซับสีย้อมและโลหะหนักในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์พบว่า ถ่านกัมมันต์ 10 กรัมสามารถดูดซับโลหะได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดโดยทองแดง 0.25 มิลลิกรัมถูกดูด

ซั้มมากถึงร้อยละ 96 ในขณะที่เหล็ก 0.50 มิลลิกรัมถูกดูดซั้มร้อยละ 72 เมื่อใช้เวลาในการดูดซั้ม 120 นาทีสำหรับการดูดซั้มสั้ย้อมธรรมชาติจะมีประสิทธิภาพในการดูดซั้มมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อมีการปรับสภาพของน้ำตัวอย่างก่อนการดูดซั้มเป็นกลาง-เบส จากการทดลองใช้ดูดซั้มสั้ย้อมจากโรงงานผลิตกระดาษสาพบว่าถ่านกั้มมันต์จากซังข้าวโพดสามารถใช้เป็นสารดูดซั้มที่มีประสิทธิภาพและราคาถูกลง

**ไพทิพย์ (2555)** ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่จะใช้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการลดต้นทุนการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะในขั้นตอนการชุบนิเกิล พบว่าขุยมะพร้าว มีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซั้มนิเกิล เนื่องมาจากมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส และลิกนิน

ผลการศึกษากลไกการดูดซั้มโลหะนิเกิลของขุยมะพร้าวโดยอาศัย เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์จากแสงซินโครตรอน พบว่าขุยมะพร้าว และขุยมะพร้าวที่ผ่านปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น มีประสิทธิภาพการในการดูดซั้มนิเกิล ในระดับ 9.5 มิลลิกรัมของนิเกิลต่อกรัมของตัวดูดซั้ม และ 38.9 มิลลิกรัมของนิเกิลต่อกรัมของตัวดูดซั้ม ตามลำดับ

**ธีระ (2555)** ได้ทำการศึกษาการดูดซั้มสารปนเปื้อนที่เป็นโลหะหนักบางชนิดในสถานะสารละลาย โดยใช้ถ่านกั้มมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง โดยศึกษาโดยศึกษาผลของค่าพีเอช, ระยะเวลาสัมผัส, ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก และไอโซเทอร์มการดูดซั้มโดยใช้เทคนิคการดูดซั้มแบบแบทช์

ผลการวิจัยพบว่า สภาวะพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซั้มไอออนโลหะทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ), เหล็ก ( $\text{Fe}^{3+}$ ), โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ), แคดเมียม ( $\text{Cd}^{2+}$ ), แมงกานีส ( $\text{Mn}^{2+}$ ) และนิเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ได้แก่ พีเอช 5, 4, 6, 5, 6 และ 5 ตามลำดับ โดยการดูดซั้มโลหะหนักทุกตัว มีแนวโน้มเข้าสู่สมดุล ในระยะเวลาสัมผัสที่ 60 นาที และพบว่าพฤติกรรมการดูดซั้มโลหะหนักทุกตัวเป็นไปตามทั้งไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช เนื่องจากค่า  $r^2$  มีค่ามากกว่า 0.90 โดยค่าไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ดีกว่า ยกเว้นโลหะเหล็กที่เป็นแบบฟรุนดลิชมากกว่าความจุของการดูดซั้มแบบชั้นเดียวสูงสุด (โมโนเลเยอร์,  $q_m$ ) สำหรับโลหะทองแดง, เหล็ก, โครเมียม, แคดเมียม, แมงกานีส และนิเกิล เท่ากับ 0.376, 0.064, 0.706, 0.567, 0.443 และ 0.720 มิลลิโมลต่อกรัมของถ่านกั้มมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่เตรียมด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี และถ่านกั้มมันต์ที่เตรียมด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพมีค่าเท่ากับ 0.373, 0.053, 0.734, 0.553, 0.459 และ 0.668 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ

**สัมพันธ์ (2556)** ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซั้มโลหะหนักด้วยสรสักัดจากเปลือกส้ม สักัดด้วยกรดซิตริก 3 % w/v ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที โดยใช้เอทานอลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าเปอร์เซ็นต์การได้ผลผลิตที่ดีที่สุดคือใช้เอทานอลความเข้มข้น 95 %v/v โดยมีค่าเท่ากับ 62.19 % และเปอร์เซ็นต์การได้ผลผลิตน้อยที่สุดเมื่อใช้เอทานอลเข้มข้น 85 % v/v ซึ่งได้ 48.79 % นำสารสักัดที่ได้ทดสอบความสามารถในการดูดซั้มโลหะหนัก คือ  $\text{Pb}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{6+}$  วิเคราะห์โดย Atomic Absorption Spectrometer (AAS) พบว่า สารสักัดที่ดูดซั้มโลหะหนัก  $\text{Pb}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{6+}$  ที่ดีที่สุด คือเพคตินที่สักัดจากเปลือกส้มโอแล้วตกตะกอนด้วยเอทานอลเข้มข้น 75 % v/v ที่ปริมาณเพคติน 2.5 กรัม เวลา 20 นาที ดูดซั้มได้ 46.34 ppm และสารสักัดที่ดูดซั้มโลหะหนัก  $\text{Cr}^{6+}$  ได้ดีที่สุุด ปริมาณเพคติน 0.5 กรัม เวลา 5 นาที ดูดซั้มได้ 62.87 ppm ตามลำดับ

**สถาบันแสงซินโครตรอน (2556)** คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่จะใช้เป็นอีกหนึ่งทางเลือก ในการลดต้นทุนการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการขุบนิกเกิด พบว่าขุบมะพร้าว มีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับนิกเกิด เนื่องจากมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส และลิกนิน ผลการศึกษาจากกลไกการดูดซับโลหะนิกเกิดของขุบมะพร้าวโดยอาศัย เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์จากแสงซินโครตรอน พบว่าขุบมะพร้าว และขุบมะพร้าวที่ผ่านปรับสภาพด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพการในการดูดซับนิกเกิด ในระดับ 9.5 มิลลิกรัมของนิกเกิดต่อกรัมของตัวดูดซับ และ 38.9 มิลลิกรัมของนิกเกิดต่อกรัมของตัวดูดซับ ตามลำดับ

**จุฑารัตน์ (2557)** ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดง แมงกานีส แคลเดียม ตะกั่ว นิกเกิล และสังกะสีในน้ำเสียโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวดูดซับด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์บชันโทรโพโตเมตรี โดยการนำมาอบแห้งและบดละเอียดด้วยตะแกรงร่อน ขนาด 20 mesh นำมาทดสอบด้วยวิธีแบบคอลัมน์ โดยบรรจุซังข้าวโพด น้ำหนัก 25.00 กรัม ลงไปในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 เซนติเมตร ทดสอบหาสภาวะที่ของการทดลองนี้คือ ค่า pH ของน้ำเสียตัวอย่างเท่ากับ 4 และอัตราการไหลผ่านคอลัมน์ 3 ml/min แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมตรี และคำนวณความเข้มข้นของโลหะหนัก calibration method เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโลหะทองแดง

ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับ (% total efficiency) ของโลหะหนัก ตะกั่ว ทองแดง แคลเดียม สังกะสี นิกเกิล และแมงกานีส มีค่า 100%, 99.4%, 99.2%, 96.3%, 78.9% และ 71.1% ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 120 ppm แต่ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักทองแดง แคลเดียม สังกะสี นิกเกิล และแมงกานีส มีค่าลดลงเป็น 99.4%, 99.2%, 96.3%, 78.9% และ 71.1% ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงเป็น 200 ppm

**สุภาภรณ์และนพปฎล (2558)** ได้ทำการศึกษาวิจัยการนำเถ้าขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ทองแดง และสังกะสีของเถ้าขานอ้อยที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลทั้งแบบบดและแบบไม่บดการทดสอบการดูดซับจะใช้วิธีแบบกะ เพื่อหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าขานอ้อย ไอโซเทอมการดูดซับผลกระทบของระยะเวลาดูดซับ ค่า pH และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายที่มีต่อการดูดซับ ตลอดจนการสร้างแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ และแบบจำลองการดูดซับของฟรุนด์ลิช

ผลการศึกษาพบว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วง 40 นาทีแรก และเข้าสู่สมดุลภายใน 60 นาทีที่ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเพิ่มขึ้นการดูดซับเกิดขึ้นได้สูงสุดที่ค่า pH ประมาณ 9 เถ้าขานอ้อยแบบบดและแบบไม่บดมีความสามารถในการดูดซับทองแดงและสังกะสีใกล้เคียงกัน คือเถ้าขานอ้อยแบบบดมีความสามารถดูดซับทองแดง และสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 8.02 และ 6.56 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนเถ้าขานอ้อยแบบไม่บดมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 9.04 และ 5.93 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับแบบจำลองของแลงเมียร์ และแบบจำลองของฟรุนด์ลิชสามารถอธิบายการดูดซับทองแดงและสังกะสีได้ดี

**Apipreeya (2006)** การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยกรดฟอสฟอริก นำมาศึกษาเพื่อดูดซับน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนัก ซึ่งโลหะหนักที่นำมาศึกษาคือทองแดง และตะกั่วทั้งในระบบหนึ่งองค์ประกอบและสององค์ประกอบ ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง และตะกั่วคือ พีเอช 5 และอัตราเร็วในการดูดซับสามารถทำนายด้วยสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง และความสามารถในการดูดซับสูงสุดในการดูดซับทองแดงและตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 0.53 มิลลิโมลต่อกรัม ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องในการดูดซับคือ หมู่คาร์บอกซิลิก หมู่เอมีน และ หมู่เอไมด์ กลไกในการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดโลหะหนักจะเป็นการดูดซับทางกายภาพ ในการดูดซับสององค์ประกอบของทองแดงและตะกั่วพบว่า ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้มากกว่าทองแดง และความสามารถในการดูดซับของโลหะแต่ละชนิดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับโลหะหนักหนึ่งองค์ประกอบ ในการคายซับโลหะหนักด้วยกรดซิตริก จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริก และอุณหภูมิในการคายซับจะทำให้ประสิทธิภาพในการคายซับสูงขึ้น กรดซิตริกที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 4 หรือ 8 สามารถสกัดโลหะหนักหนึ่งองค์ประกอบได้เกือบ 100% แต่ในการแยกโลหะหนักสององค์ประกอบให้ได้มากที่สุด ควรใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 16 และอัตราเร็วในการคายซับการสกัด สามารถทำนายได้ด้วยสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสองเช่นเดียวกัน

Hossain, Ngo, Guo and Nguyen (2012) ทำการศึกษากระบวนการดูดซับ (Adsorption) และกระบวนการคายสารถูกดูดซับ (Desorption) ของไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ในน้ำเสียโดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับผลการทดลองพบว่าสารดูดซับที่เตรียมจากเปลือกกล้วยมีพื้นที่ผิวในการดูดซับไอออนทองแดงสูงมีตำแหน่งที่ว่างไว้ต่อการเกิดปฏิกิริยา และหมู่ฟังก์ชันต่างๆโดยประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนทองแดงมีค่าสูงสุดที่ pH เท่ากับ 6.50 ปริมาณที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 0.500 กรัม/สารละลาย 100 มิลลิลิตรและเวลาที่สัมผัส 1 ชั่วโมง นอกจากนี้การวิเคราะห์อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic) โดยใช้ 0.100 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในการศึกษากระบวนการดูดซับและกระบวนการคายสารถูกดูดซับพบว่าการคายไอออนทองแดงสูงถึงร้อยละ 94.0 สอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์โดยเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo First-Order)

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.1.1 สารเคมี

1. คอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) A.R. Grade บริษัท Carlo Erba reagent ประเทศฝรั่งเศส
2. นิกเกิล (II) ซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) A.R. Grade บริษัท Carlo Erba reagent ประเทศฝรั่งเศส
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรด RPE บริษัท Carlo Erba reagent ประเทศฝรั่งเศส
4. กรดซिटริก ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_8$ ) เกรด RPE บริษัท Carlo Erba reagent ประเทศฝรั่งเศส
5. กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เกรด RPE บริษัท APS Ajax Finechem ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เลด (II) ไนเตรต ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) เกรด RPE บริษัท APS Ajax Finechem ประเทศสหรัฐอเมริกา

#### 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Denver instrument model 250 ประเทศญี่ปุ่น
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) รุ่น AAnalyst (AAS-200 new) ยี่ห้อ Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องเขย่า (Shaking machine) ยี่ห้อ Gallenkamp รุ่น Orbital shaker ประเทศเยอรมนี
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (balance) ยี่ห้อ Percisa รุ่น 205A ประเทศเยอรมนี
5. ตู้อบสาร (Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM400 ประเทศเยอรมนี
6. เครื่องกรองลดความดันยี่ห้อ EYELA (Tokyo rikakikaico., ltd) รุ่น Aspirator A-35 ประเทศเยอรมนี
7. ตะแกรงร่อน ขนาด 50 เมช ASTM E 11 บริษัท Endecotts., Ltd ประเทศอังกฤษ
8. กระดาษกรอง (Filter Papers) เบอร์ 2 และเบอร์ 42 ยี่ห้อ Mancherey Nagel ประเทศเยอรมนี
9. เครื่องบดตัวอย่าง
10. อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
11. ไยมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 วิธีการทดลอง

### 3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และเตรียมวัสดุที่เหมาะสมในการดูดซับ

#### ก. การเตรียมใยมะพร้าว

1. นำใยมะพร้าวมาฉีก แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลง
2. นำไปอบแห้งในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
3. นำมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างและกรองผ่านตะแกรง ขนาด 50 เมช ให้มีขนาดประมาณ

0.30 มิลลิเมตร

4. ชั่งน้ำหนักใยมะพร้าวที่ผ่านการบดและกรองมา 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ แล้วนำมาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

6. นำสารละลายมากรองลดความดัน โดยใช้กระดาษกรอง เบอร์ 2 แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนแน่ใจว่าไม่มีเบสเหลืออยู่ ซึ่งสามารถทดสอบได้ด้วยการหยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

7. นำใยมะพร้าวไปอบให้แห้งในตู้อบอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8. นำมาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์

#### ข. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนทองแดง

1. ชั่งคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) มา 3.9292 กรัม ใส่ปิกรเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วละลายด้วยน้ำกลั่น

2. เติมกรดไนตริกความเข้มข้น 20% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3. ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร จะได้น้ำที่มีทองแดงเข้มข้น 1,000 ppm

4. ปรับความเข้มข้นจาก 1,000 ppm ให้เป็น 50 ppm เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

#### ค. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนนิกเกิล

1. ชั่งนิกเกิล (II) ซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) มา 4.4602 กรัม ใส่ปิกรเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น

2. เติมกรดไนตริกความเข้มข้น 20% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3. ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร จะได้น้ำที่มีนิกเกิลเข้มข้น 1,000 ppm

4. ปรับความเข้มข้นจาก 1,000 ppm ให้เป็น 250 ppm เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพใยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก

#### 3.2.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซิตริก

1. ชั่งใยมะพร้าวที่ผ่านการแช่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ใส่ปิกรเกอร์ ขนาด 30 มิลลิลิตร จำนวน 5 ชุด (ทำชุดละ 3 ซ้ำ)

2. เติมกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เท่ากันทุกชุด ตามลำดับ แล้วปิดผนึกด้วยพาราฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิห้องแล้วประเหยกรดออกโดยใช้ heater ซึ่งทำในตู้ดูดควัน

4. นำไยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกไปทำให้แห้งต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้ทำการเพิ่มอุณหภูมิในตู้อบเป็น 120 องศาเซลเซียส และอบต่ออีก 90 นาที

5. นำไยมะพร้าวที่ผ่านการอบมาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. นำไยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกมาล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เพื่อล้างเอากรดซัลฟิวริกส่วนเกินออก โดยทดสอบการตกตะกอนกับสารละลายเลด (II) ไนเตรต ( $Pb(NO_3)_2$ ) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ อัตราส่วนสารละลายกับ  $Pb(NO_3)_2$  เท่ากับ 10:10 มิลลิลิตร

7. นำไยมะพร้าวไปอบให้แห้งในตู้อบอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

8. ชั่งไยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

9. ปิเปตน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีไยมะพร้าว โดยปรับ pH เท่ากับ 6 ก่อน

10. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

11. นำสารละลายมากรองลดความดันด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วกรองซ้ำด้วย filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร

12. เก็บสารละลายที่กรองได้ใส่ขวดพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ทองแดงและนิกเกิลด้วยเครื่อง AAS

13. นำไยมะพร้าวที่ผ่านการแช่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกมาดูดซับทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ค่า pH เท่ากับ 6 เพื่อทำเป็นชุดควบคุม

### 3.2.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสม

ทำการทดลองเหมือนกับ ข้อ 3.2.2.1 โดยใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS แต่แปรผันระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซัลฟิวริกเป็น 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

### 3.2.2.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบ

ทำการทดลองเหมือนกับ ข้อ 3.2.2.2 โดยใช้ความเข้มข้นและระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม แต่แปรผันอุณหภูมิในเตาอบดังนี้คือ 30, 80, 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

### 3.2.2.4 การศึกษาผลของระยะเวลาในการอบตัวดูดซับ

ทำการทดลองเหมือนกับ ข้อ 3.2.2.3 โดยใช้ความเข้มข้น ช่วงระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซัลฟิวริกและอุณหภูมิในการอบไยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม แต่แปรผันระยะเวลาในการอบดังนี้คือ 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ

#### 3.2.3.1 การศึกษาผลของ pH

1. ชั่งไยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกในสภาวะที่เหมาะสม 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่พลาสติก ขนาด 250 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)
2. เปิดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่พลาสติกที่มีไยมะพร้าว โดยแปรผัน ค่า pH เป็น 3, 4, 5, 6 และ 7 ก่อน
3. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
4. นำสารละลายมากรองลดความดันด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 แล้วกรองซ้ำด้วย filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร
5. เก็บสารละลายที่กรองได้ใส่ขวดพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์โลหะนิกเกิลและทองแดงด้วยเครื่อง AAS

#### 3.2.3.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการดูดซับ

ทำการทดลองซ้ำเหมือนกับ ข้อ 3.2.3.1 โดยใช้ค่า pH ที่เหมาะสม แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการสัมผัสเป็น 10, 30, 60, 120 และ 180 นาที (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

### 3.2.4 การศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก

นำไยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกมาดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนของโลหะทองแดงและนิกเกิล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยเลือกค่า pH และระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสม เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับไยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก (ทำซ้ำ 3 ครั้ง)

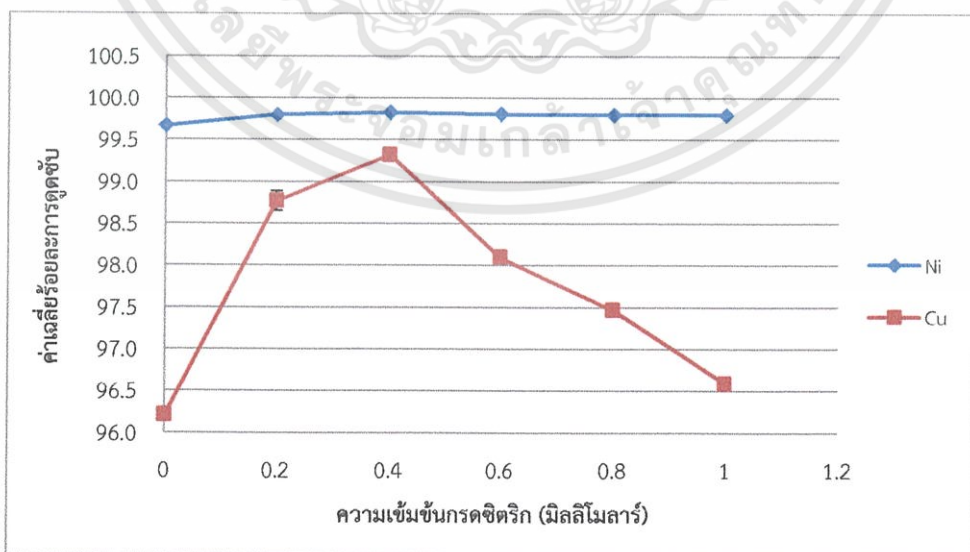
## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงการพิเศษเรื่องนี้ศึกษาการดูดซับทองแดง และนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไยมะพร้าวปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดง และนิกเกิลมากขึ้น เพราะในอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่จะทิ้งน้ำที่ปนเปื้อนทองแดงลงสู่สิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรมชุบโลหะ เช่น ชุบโลหะนิกเกิล ชุบโลหะนิกเกิล-ทองแดง และชุบโลหะนิกเกิล-ทองแดง-โครเมียม เป็นต้น จึงได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับและศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุง และไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก ผลการทดลองได้แสดงไว้ในข้อต่างๆดังนี้

### 4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก

#### 4.1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซิตริก

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของไยมะพร้าว โดยการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นได้ปรับปรุงต่อด้วยกรดซิตริก โดยแปรผันความเข้มข้นดังนี้คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิโมลาร์ แล้วนำไปดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ใช้ปริมาณความเข้มข้นดังกล่าว เนื่องจากเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่พบได้ในน้ำเสียอุตสาหกรรม) ใช้อัตราส่วนไยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกต่อน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 0.5 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร ปรับ pH เท่ากับ 6 และระยะเวลาการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1



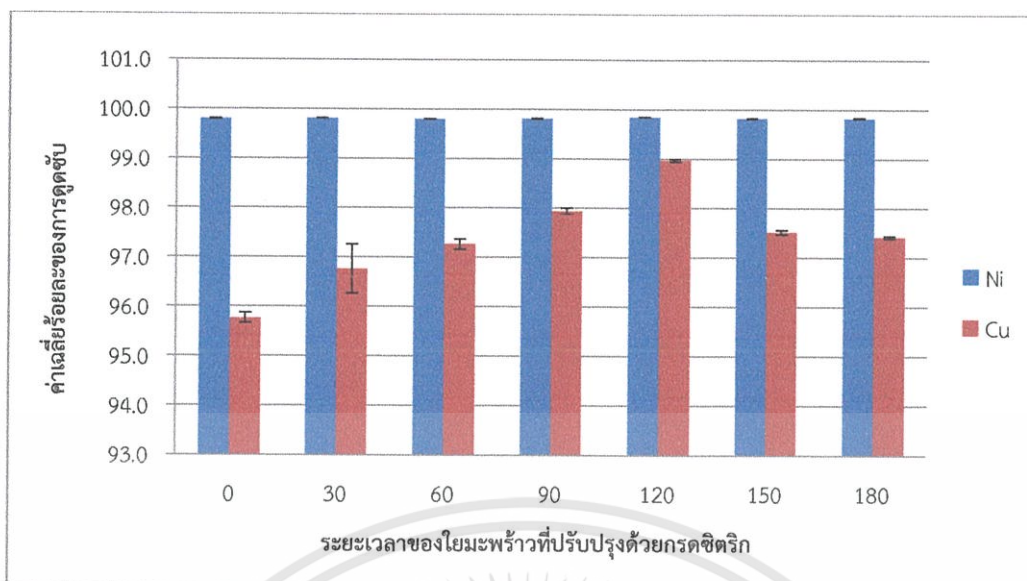
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดซิตริกกับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ไยเมพรวัวที่แช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดซิตริกจะมีประสิทธิภาพการดูดซับของทองแดง ร้อยละ 96.21 และประสิทธิภาพการดูดซับของนิกเกิล ร้อยละ 99.67 เนื่องจากแช่ด้วยต่างเป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกไปซึ่งตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสและกรดซิตริก (Sliverstein et.al, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสขยายตัว เพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยากับ methyl ester ให้กลายเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลตจึงมีความสามารถดึงดูโลหะประจุบวกได้มากขึ้นต่อจากนั้นนำไยเมพรวัวไปปรับปรุงต่อด้วยกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0.2 มิลลิโมลาร์ กราฟมีลักษณะสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพการดูดซับทองแดง ร้อยละ 98.77 และดูดซับนิกเกิล ร้อยละ 99.80 กรดซิตริกมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของไยเมพรวัว เพราะการปรับสภาพด้วยกรดซิตริกเป็นการปรับปรุงโครงสร้างของไยเมพรวัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก โดยกรดซิตริกเข้าไปเติมหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group : -COOH) (ศศิธร, 2551) ให้กับโครงสร้างของไยเมพรวัว เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริกเป็น 0.4 มิลลิโมลาร์ กราฟจะเพิ่มความสูงขึ้นอีก ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนทองแดงและนิกเกิล มีประสิทธิภาพการดูดซับทองแดง ร้อยละ 99.32 ดูดซับนิกเกิล ร้อยละ 99.83 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริกเป็น 0.6 มิลลิโมลาร์ จนถึง 1 มิลลิโมลาร์ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับลดลงและมีแนวโน้มคงที่อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากเป็นจุดที่เกินสมดุลในการเข้าทำปฏิกิริยาเมื่อความเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้ประจุลัทธิกันเองและเกิดการคายซับได้ง่าย

#### 4.1.2 การศึกษาผลของช่วงระยะเวลาการสัมผัส

ในการศึกษาการปรับสภาพไยเมพรวัวโดยแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นปรับปรุงต่อด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ โดยแปรผันระยะเวลาสัมผัสระหว่างไยเมพรวัวกับกรดซิตริก โดยให้ไยเมพรวัวมีระยะเวลาสัมผัสกับกรดซิตริกเป็น 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที จากนั้นนำไปดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้อัตราส่วนไยเมพรวัวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกต่อน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 0.5 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 6 และมีระยะเวลาดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4.2

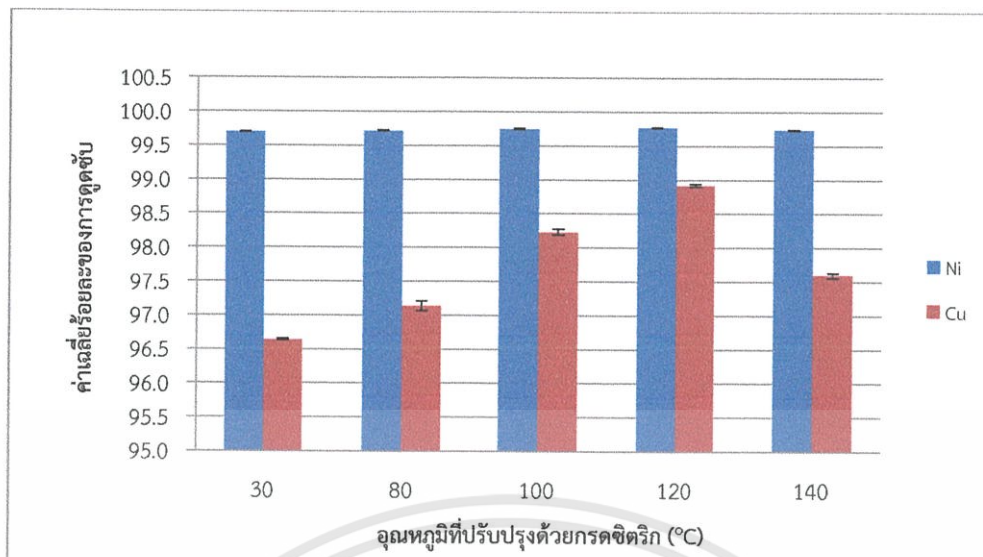


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ไยมะพร้าวสัมผัสกับกรดซิตริกเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

จากรูปที่ 4.2 เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจาก 0 นาทีถึง 180 นาที กราฟการดูดซับนิกเกิลจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยระยะเวลาการสัมผัสที่ 0 นาทีนั้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับได้ถึงร้อยละ 99.80 เนื่องจากผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเบื้องต้น จากกราฟจะเห็นว่าที่เวลา 120 นาทีจะเป็นระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนนิกเกิลดูดซับได้ ร้อยละ 99.85 ในส่วนของกราฟการดูดซับไอออนทองแดงพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจาก 0 นาทีถึง 120 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและที่เวลา 120 นาทีจะเป็นระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม เนื่องจากให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดงดูดซับได้ ร้อยละ 98.97 หลังจากนั้นที่เวลา 150 นาที และ 180 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปตัวดูดซับสามารถเกิดการคายซับไอออนโลหะออกมา

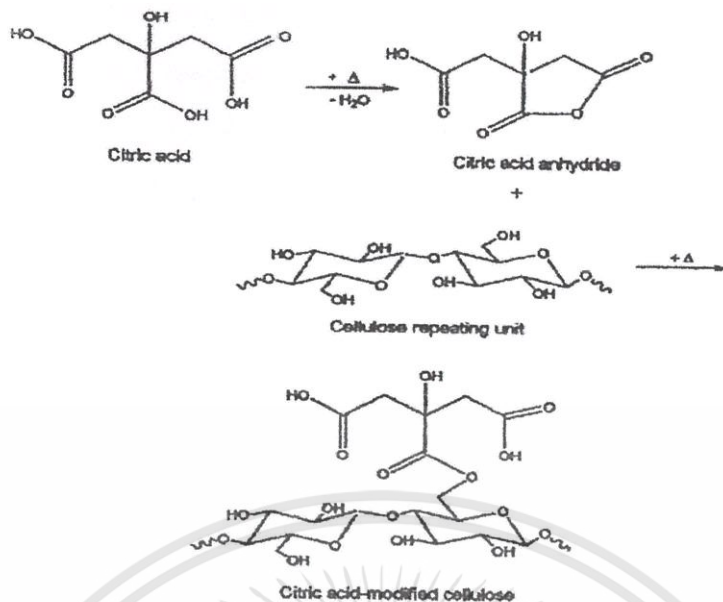
#### 4.1.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิ

การศึกษาการปรับสภาพไยมะพร้าวโดยแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ และปรับปรุงด้วยกรดซิตริกเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ มีระยะเวลาสัมผัส 120 นาที จากนั้นได้แปรผันอุณหภูมิในการอบไยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริกเป็น 30, 80, 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส แล้วนำไปดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ pH เท่ากับ 6 และระยะเวลาการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงโพลิเมอร์ด้วยกรดซิตริก กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

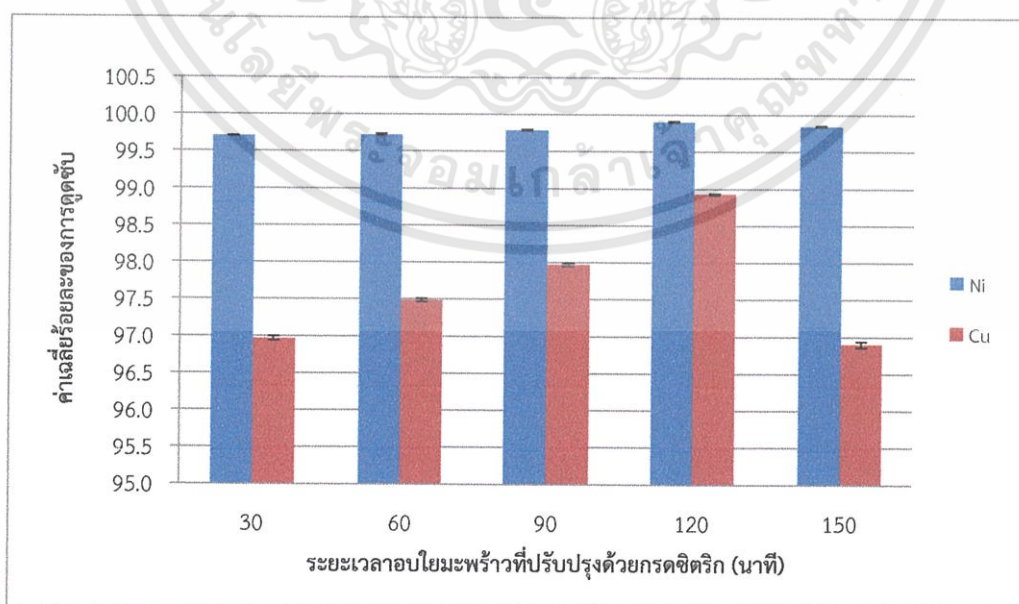
รูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไปเป็นอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไปเป็น 120 องศาเซลเซียส กราฟจะมีความชันมากขึ้นแสดงถึงประสิทธิภาพที่มีเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 95 และประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดคือที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดงและนิกเกิลดูดซับได้ถึง ร้อยละ 98.92 และ 99.77 ตามลำดับ เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกรดซิตริกได้รับความร้อนจะสูญเสียน้ำกลายเป็นซิตริกแอนไฮไดรด์ จะทำให้ขาดอิเล็กตรอนและสามารถรับอิเล็กตรอนจากหมู่ไฮดรอกซิลจากโพลิเมอร์ได้ ทำให้เกิดพันธะเอสเทอร์ขึ้นซึ่งสามารถดูดซับประจุบวกของโลหะได้ หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิประสิทธิภาพจะลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงมากๆ จะมีผลกับพันธะ Crosslinking ซึ่งทำให้หมู่คาร์บอกซิลลดลง ความสามารถในการดูดซับจึงลดลงตามไปด้วย (Wing,1996)



รูปที่ 4.4 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสและกรดซิตริกในกระบวนการปรับสภาพ  
(ศศิธร, 2551)

#### 4.1.4 การศึกษาผลของเวลาในการอบตัวดูดซับ

การศึกษากการปรับสภาพไยมะพร้าวโดยแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ และปรับปรุงด้วยกรดซิตริก เข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ มีระยะเวลาสัมผัส 120 นาที และมีอุณหภูมิในการอบ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นแปรผันระยะเวลาในการอบไยมะพร้าว โดยกำหนดเวลาดังนี้คือ 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที แล้วนำไปดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ pH เท่ากับ 6 และระยะเวลาการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาอบไยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก กับการดูดซับ  
ไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

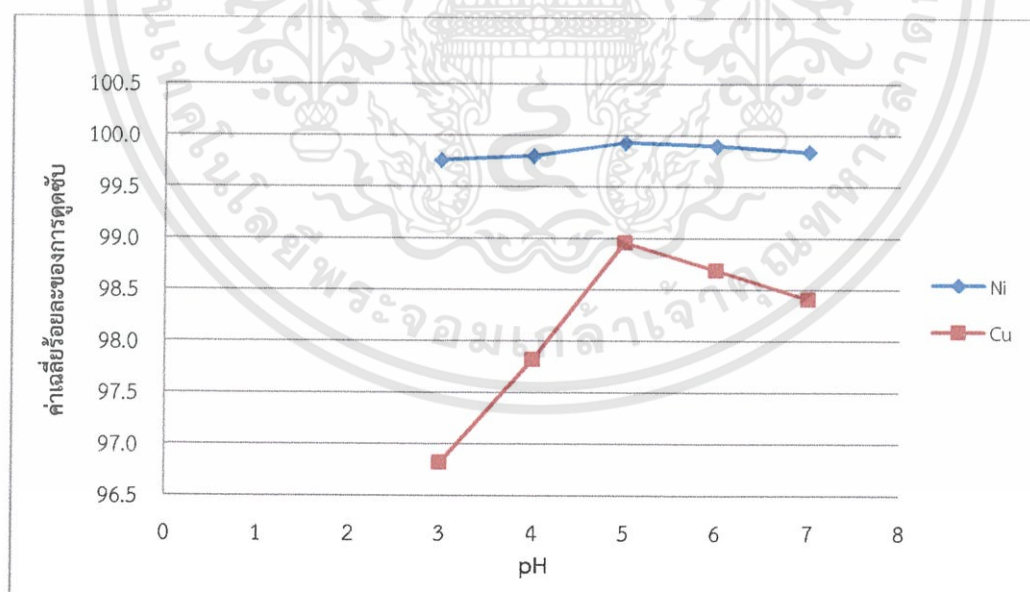
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 พบว่า เมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที ไปจนถึง 120 นาที กราฟทั้งสองมีความชันเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่มีเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดคืออบเป็นระยะเวลา 120 นาที เนื่องจากความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับเวลา ดังนั้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นปริมาณของหมู่คาร์บอกซิลจะเพิ่มขึ้นด้วย (หฤทัย, 2547) ให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดงและนิกเกิลดูดซับได้ถึงร้อยละ 98.93 และ 99.91 ตามลำดับ หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบ ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง เนื่องจากอิทธิพลของพันธะ Crosslinking ที่ทำให้หมู่คาร์บอกซิลลดลง ความสามารถในการดูดซับจึงลดลงตามไปด้วย (Wing, 1996)

## 4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ

### 4.2.1 การศึกษาผลของ pH

จากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนโพลิเมอร์ขาวที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกต่อน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 0.5 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิตร แปรผันค่าที่ pH 3, 4, 5, 6 และ 7 (เนื่องจากได้คำนวณช่วงของการตกตะกอนที่เกิดขึ้น pH ที่มากกว่า 7 นั้นมีการตกตะกอนจึงทำการทดลองถึง pH เท่ากับ 7) ระยะเวลาการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 60 นาที ผลการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4.6



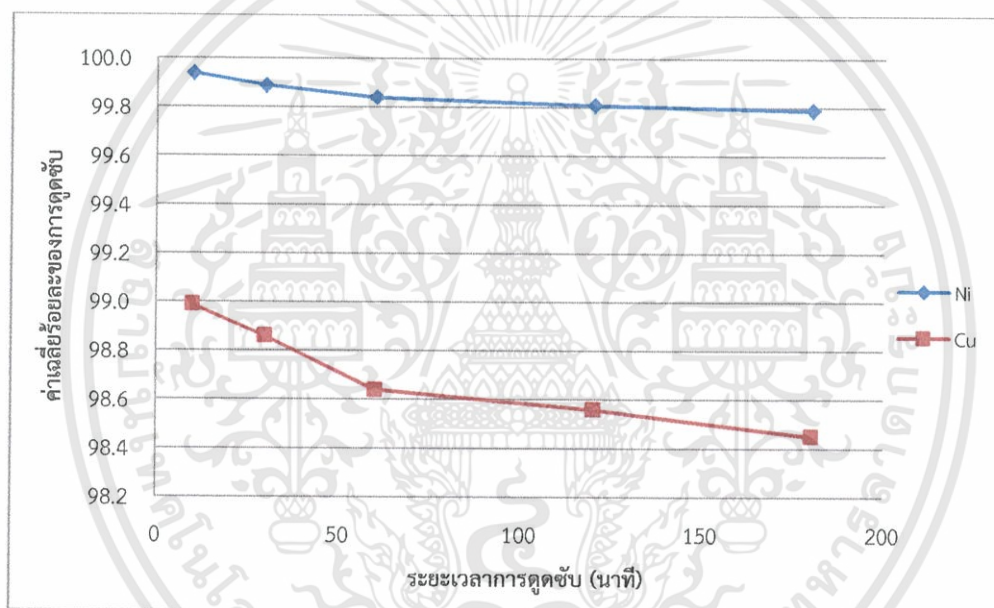
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

จากรูปที่ 4.6 พบว่ากราฟทั้งสองจะสูงขึ้นจนกระทั่ง pH เท่ากับ 5 จะเป็นจุดสูงสุดของกราฟที่มีประสิทธิภาพก็เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดของทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ร้อยละ 98.96 และประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ร้อยละ 99.93 เมื่อ pH ลดลง ไฮโดรเจนไอออนจะมีมาก จะไปดักยึดกับหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบ ทำให้ความสามารถดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ลดลง (หฤทัย, 2547) และเมื่อเพิ่ม pH มากกว่า 6 จะไม่ส่งผลให้การดูดซับดีขึ้นอีก

#### 4.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการดูดซับ

จากการศึกษาระยะเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนใยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกต่อน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 0.5 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 5 และแปรผันระยะเวลาการดูดซับเป็นเวลา 10, 30, 60, 120 และ 180 นาที ผลการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4.7



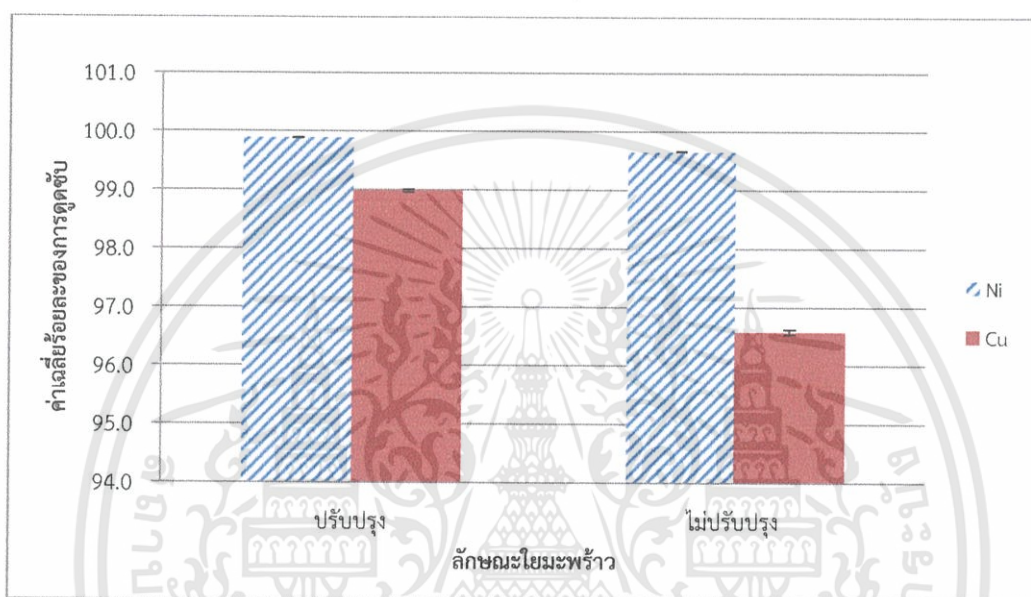
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการดูดซับ กับการดูดซับของทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

จากรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่อเวลาการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับของใยมะพร้าวจะลดลงเนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปตัวดูดซับสามารถเกิดการคายซับไอออนโลหะออกมาโดยระยะเวลาการดูดซับที่ดีที่สุดคือ 10 นาที เนื่องจากมีประสิทธิภาพของการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ร้อยละ 98.99 และประสิทธิภาพของการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ร้อยละ 99.94 ซึ่งในช่วงเวลา 10 นาที มีประสิทธิภาพการดูดซับมากนั้น เนื่องจากพื้นที่ผิววัสดุดูดซับยังมีอยู่มาก ทำให้อัตราการดูดซับมากกว่าอัตราการคาย แต่เมื่อเวลาผ่านไป Active site จะลดลง เพราะมีไอออนของโลหะหนักเข้าไปเกาะยึดอยู่ ทำให้เกิดการคายซับมากกว่านั่นเอง (ศศิธร, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การศึกษาผลของการดูดซับไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก

น้ำไยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดซิตริกมาดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เพื่อมาเปรียบเทียบกับไยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดซิตริก เข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ มีระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ใช้อุณหภูมิในการอบ 120 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 นาที แล้วนำไปดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ pH เท่ากับ 5 และระยะเวลาการดูดซับ 10 นาที ผลการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ลักษณะไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกกับการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ไยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงสภาพ จะมีประสิทธิภาพการดูดซับทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ร้อยละ 96.58 และประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ร้อยละ 99.66 แต่เมื่อทำการปรับปรุงสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปรับต่อด้วยกรดซิตริกทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับของทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ร้อยละ 98.99 การดูดซับของนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ร้อยละ 99.89 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการปรับปรุงด้วยกรดซิตริกจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลลูโลส โดยกรดซิตริกจะเข้าไปเติมหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group :  $-\text{COOH}$ ) ทำให้ไยมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการดักจับกับไอออนที่มีประจุบวกเพิ่มขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการดูดซับทองแดง และนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริกมีปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซิตริก ระยะเวลาการสัมผัส อุณหภูมิและเวลาในการอบตัวดูดซับ 2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ มีปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่า pH และระยะเวลาในการดูดซับ 3) การศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก ซึ่งได้สรุปผลการวิเคราะห์ดังนี้

##### 5.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการปรับปรุงคุณภาพไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก

5.1.1.1 การศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสม พบว่า ความเข้มข้นของกรดซิตริก 0.4 มิลลิโมลาร์ ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด

5.1.1.2 การศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซิตริกพบว่า ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักที่สุด

5.1.1.3 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบไยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบคือ 120 องศาเซลเซียส

5.1.1.4 การศึกษาเวลาในการอบตัวดูดซับพบว่า เวลาในการอบตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดคือ 120 นาที

##### 5.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ

5.1.2.1 การศึกษา pH ที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า pH 5 เหมาะสมในการดูดซับไอออนของโลหะทองแดงและนิกเกิลที่สุด

5.1.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับไอออนของโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมคือ 10 นาที

##### 5.1.3 การศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก

การศึกษานำไยมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกมาดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ในสภาวะที่เหมาะสม พบว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 96.58 แต่เมื่อปรับปรุงคุณภาพของไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมมาดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า ให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มสูงขึ้นอีกเล็กน้อยคือได้ร้อยละ 98.99

ส่วนการศึกษานำไยมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกมาดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ในสภาวะที่เหมาะสม ค่า pH เท่ากับ 5 พบว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 99.66 แต่เมื่อปรับปรุงคุณภาพของไยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก โดยเลือกสภาวะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมมาดูดซับไอออนทองแดง ( $Ni^{2+}$ ) ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า ให้ประสิทธิภาพการดูดซับไม่ต่างจากเดิมมากนัก คือ ร้อยละ 99.89

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของไยมะพร้าวก่อนปรับปรุง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและส่วนประกอบอื่นๆ ในไยมะพร้าว

5.2.2 ควรทำการศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างไยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว และไยมะพร้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในทุกพารามิเตอร์ของการทดลอง

5.2.3 ควรมีการศึกษานำไยมะพร้าวไปบำบัดหรือทำการดูดซับกับโลหะหนักชนิดอื่น นอกเหนือจากทองแดงและนิกเกิล

5.2.4 ควรมีการศึกษการใช้วัสดุจากธรรมชาติชนิดอื่นๆ มาใช้ในการดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลแทน

5.2.5 ควรมีการศึกษารปรับปรุงคุณภาพของตัวดูดซับด้วยสารชนิดอื่นๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรดซิตริก ( $C_6H_{10}O_8$ )

5.2.6 ควรนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียในกระบวนการอุตสาหกรรมเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด

5.2.7 ควรมีการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของไยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงทางเคมี

5.2.8 ควรมีการศึกษาถ้าหากไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายไฮเดรอกไซด์ ก่อนนำมาใช้ในการดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิล

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป.ค. นิกเกิล (Nickel). ศูนย์วัตถุดิบอันตรายและเคมีภัณฑ์ : Chemical Data Bank. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://msds.pcd.go.th/pdf>. (สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2559).
- กรมควบคุมมลพิษ. ม.ป.ป.ค. ทองแดง (Copper). ศูนย์วัตถุดิบอันตรายและเคมีภัณฑ์ : Chemical Data Bank. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://msds.pcd.go.th/pdf>. (สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2559).
- สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน. 2556. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [http://www.sri.or.th/th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1858:2013-05-02-05-01-49&catid=44:2010-11-01-18-55-24&Itemid=326](http://www.sri.or.th/th/index.php?option=com_content&view=article&id=1858:2013-05-02-05-01-49&catid=44:2010-11-01-18-55-24&Itemid=326). (สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2558).
- กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน. 2551. การแยกธาตุโลหะทองแดงและตะกั่วจากของเสียอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการเพื่อเตรียมเป็นรีเอเจนต์แบบประหยัด. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://www.research.cmru.ac.th/2014/ris/resout/arc/345-57-SCI-NRCT-FULL.pdf>. (สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2558).
- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539). ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม” ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.
- จตุพร โทงว่ง, ธิรัตน์ จรัสกุล และสุธาสินี บุญยสถิตย์. 2556. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผกตบขาว โสน และบอน. ครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังพ.ศ. 2556. หน้า. 1-81.
- จริยา ประชุม, สุภาภรณ์ ชนะโชติ และอลิษา ขุนอาจ. 2556. การดูดซับทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก. ครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556. หน้า. 1-84.
- ศุภชัย รัตนมณีฉัตร. 2534. มลพิษสิ่งแวดล้อมน้ำและอากาศ. กรุงเทพมหานคร. หน่วยเวชศาสตร์ป้องกัน คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.
- จิตตรา ดอกบัว. 2551. การเตรียมเซลล์สฟอสเฟตที่มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0658/03chapter2.pdf>. (สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2559).
- จุฬารัตน์ กำวันจันทร์. 2557. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักทองแดงแมงกานีส ตะกั่วแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสีใน น้ำเสียโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวดูดซับ ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่พ.ศ. 2557.

- ชุติมา เสพย์ธรรม. 2543. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยถ้ำลอยที่ผ่านการปรับปรุง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2543.
- ชัชฎาพร องอาจ. 2545. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2545.
- เทียมชัย บัวลอย. 2552. การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ฉบับที่3. หน้า. 53-61.
- ธีระ วงศ์เนตร. 2555. การดูดซับไอออนโลหะหนักบางชนิดโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [http://research.kpru.ac.th/old/Journal\\_HSS/images/TGT/2555/pats1/4.pdf](http://research.kpru.ac.th/old/Journal_HSS/images/TGT/2555/pats1/4.pdf). (สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2559).
- นภารัตน์ จิวาลักษณ์ และดวงเดือน เทพนวล. 2555. การเตรียมและการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://www.research.cmru.ac.th/2014/ris/resout/arc/039-55-SCI-NRCT-ULL.pdf>. (สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2559).
- นพ. สิริวิชัย เดชธรรม. 2555. ฐานข้อมูลการดูแลรักษาผู้ป่วยที่ได้รับพิษสารเคมี. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [http://www.summacheeva.org/index\\_thaitox\\_nickel.htm](http://www.summacheeva.org/index_thaitox_nickel.htm). (สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2559).
- บุษกรอุยวงษ์. 2551. ปริมาณโลหะหนักในหอยแครงและหอยแมลงภู่ที่ได้จากธรรมชาติและเพาะเลี้ยงในอ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี. รายงานการวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ปิยาภรณ์ วรานุสันติกุล. 2544. การกำจัดโลหะหนักนิกเกิลและโลหะหนักตะกั่วโดยใช้แทนเปิดใหญ่. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [www.thaithesis.org/detail.php?id=45784](http://www.thaithesis.org/detail.php?id=45784). (สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2559).
- ไพฑิพย์ ธีรเวชญาณ. 2555. การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นอีกหน้ึงทางเลือกในการลดต้นทุนการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [tnrr.in.th/2555/?page=result\\_search&record\\_id=225449](http://tnrr.in.th/2555/?page=result_search&record_id=225449). (สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2559).
- เรืองศักดิ์ ชื่อประสิทธิ์. 2548. การใช้สารดูดซับจากเปลือกมันสำปะหลังสำหรับการกำจัดทองแดงจากน้ำเสียสังเคราะห์. กรุงเทพมหานคร : ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย.
- วรรณิ์ แพงจันทิก และวิชัย เพ็ชรดี. 2546. การศึกษาการสกัดเอทานอลจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2546.
- วิกันดา ชัยบุตร. 2541. การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในน้ำ ดินตะกอน และเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของปลาบางชนิดในแม่น้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2541.

- ศศิธร นามโครต. 2551. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยเปลือกกล้วย  
เหลืองตัดแปลง. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551.
- สุภาภรณ์ ศรีจันทร์ยอด และนพปฎล เสี่ยงศักดิ์. 2558. การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักของ  
ถ้ำชานอ้อย. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [http://rms.msu.ac.th/report/show\\_research\\_scholar.php?action=show\\_data&data\\_id=2728](http://rms.msu.ac.th/report/show_research_scholar.php?action=show_data&data_id=2728). (สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2559).
- สุภาพ อัจฉริยศรีพงษ์. 2553. จุลินทรีย์ในน้ำตาลสด. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [http://www.tistr.or.th/t/publication/page\\_area\\_show\\_bc.asp?i1=83&i2=31](http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=83&i2=31). (สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2559).
- สร้อย คคนัมพร. 2545. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิด  
เกล็ดในการกำจัดโครเมียมที่ละลายในน้ำเสียสังเคราะห์. กรุงเทพมหานคร : ฐานข้อมูล  
วิทยานิพนธ์ไทย.
- หฤทัย ศิระวงษ์. 2547. การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับประจุโลหะของกากมันสำปะหลังโดยการ  
ทำปฏิกิริยากับเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดซิตริก. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา  
เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2547.
- อรอุมา ละมุล. 2541. การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติใน  
การดูดซับโลหะหนัก. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [www.tnrr.in.th/2558/?page=result\\_search&record\\_id=315240](http://www.tnrr.in.th/2558/?page=result_search&record_id=315240). (สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2559).
- อดุลย์ ศรีพิลา. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการดูดซับฟลูออไรด์บนถ่านกัมมันต์และ  
ถ่านกระดูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ.  
2543.
- Barclay, W. R., and Lewin, R. A. 1985. Microalgal polysaccharide production for the  
conditioning of agricultural soils. *Plant Soil* 88: 159-169.
- Beveridge, T. J., and Murray, R. G. E., 1980. Sites of metal deposition in the cell wall  
of *Bacillus subtilis*; *Journal of Bacteriology*, v. 141, p. 876-887.
- Chemistryland. 2010. Physical Science Research Review. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <https://www.findamasters.com/search/courses.aspx?SAID=18,46,68&IID=2010>.  
(สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2559)
- Gadd, G. M. & Rome, L. de. 1988. Biosorption of copper by fungal melanin. *Appi. Microbial. Biotechnol.*, 29, 610-617.
- Gadd, G.M. and White, C. 1993. Microbial treatment of metal pollution - a working  
biotechnology?. *Trends in Biotechnology* 11, Pages 353-359.
- Hawley JA. 1997. Effect of meal frequency and timing on physical performance.  
(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9155497> (สืบค้นเมื่อ  
12 มกราคม 2559).
- Hossain, Ngo, Guo and Nguyen. 2012. Biosorption of Cu(II) From Water by Banana  
Peel Based Biosorbent: Experiments and Models of Adsorption and  
Desorption.(ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://www.jwsponline.org/uploadpic/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Magazine/pp%2087-104%20JWS-A-12-005%20New.pdf. (สืบค้นเมื่อ 22 เมษายน 2559).

- Kapoor, A. and T. Viraraghavan. 1995. Fungal biosorption-An alternative treatment option for heavy metals bearing wastewater: A review. *Bioresource Technology* 53(3), 1995: 195-206.
- Lee, B. G., and Luoma, S. N. 1998. Influence of microalgal biomass on adsorption efficiency of Cd, Cu and Zn by two bivalves from San Francisco Bay: *Limnology and Oceanography*, v. 43, p. 1455-1466.
- Mackay D, Shiu WY, Ma KC. 1993. Illustrated handbook of physicalchemical properties and environmental fate for organic chemicals. Vol.II. Lewis, Boca Raton FL, USA.
- Nasernejad B., Zadeh TE., Pour BB., Bygi ME., Zamani A. 2005. Comparison for biosorption modeling of heavy metals (Cr(III), Cu(II), Zn(II)) adsorption from wastewater by carrot residues. *Process Biochem.* 40: 1319-1322.
- Premier entaneer and supply. ม.ป.ป. นิกเกิลคืออะไร. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก [http://www.premierentaneer.com/Page\\_Article/pa\\_130814.php](http://www.premierentaneer.com/Page_Article/pa_130814.php). (สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2558).
- Senthil Kumar K., Priya M., Sajwan KS., Kolli R., Otto R. 2000. Residues of persistent organic pollutants in Estonian soil. *Estonian J Earth Sci* 58(2): 109-123.
- Silverstein RA, Chen Y, Sharma-Shivappa RR, Boyette MD, Osborne J. 2007. A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17158046>. (สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2559).
- Shumate II, S.E. and Strandberg.G.W., 1985. Accumulation of metals by microbial cells. In: Moo-Young, C.N. ROBINSON and J.A. Howell (Eds.) *Comprehensive Biotechnology*. Pergamon Press, Oxford, pp. 235-247.
- Tobin, J. M., Cooper, D. G. & Neufeld, R. J. 1984. Uptake of metal ions by *Rhizopus arrhizus* biomass. *Appl. Environ. Microbial.*, 47, 821-4.
- Tsezos, M., NOH, S.H. and Baird, M.H. I., 1988. A batch reactor kinetic model for Uranium biosorption using immobilized biomass, *Biotechnology and Bioengineering*, 32, 545-553.
- Volesky B. (ed), 1990. *Biosorption of heavy metals*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Weber WJJR. 1985. Sorbent concentration effects in liquid/solid partitioning. *Environ Sci Technol* 19, Pages 798-796.
- Wing, R. E. 1996. Corn fiber citrate: preparation and ion-exchange properties. *Industrial Crops and Products*. 5: 301-305.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลและทองแดง  
ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้โพลิเมอร์ที่ปรับปรุงด้วย  
กรดซิตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงผลข้อมูล

ก-1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพโยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก

ตารางที่ ก-1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซิตริก

1.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิล

ขวดที่	ความเข้มข้นของ กรดซิตริกที่ใช้ ปรับปรุง(mM)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก โยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับpH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ(°C)
1	0.2	0.196	99.80	99.80	0.0015	0.507	3.48	6.07	29.8
2		0.199	99.80						
3		0.198	99.80						
1	0.4	0.164	99.84	99.83	0.0036	0.509	3.46	6.03	29.8
2		0.171	99.83						
3		0.169	99.83						
1	0.6	0.197	99.80	99.81	0.0017	0.506	3.48	6.04	29.8
2		0.194	99.81						
3		0.194	99.81						
1	0.8	0.198	99.80	99.80	0.0021	0.504	3.49	6.08	29.8
2		0.195	99.81						
3		0.199	99.80						

ตารางแสดงผลข้อมูล (ต่อ)

ขวดที่	ความเข้มข้นของ กรดซิตริกที่ใช้ ปรับปรุ้ง(mM)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับpH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ(°C)
1	1.0	0.198	99.80	99.80	0.0006	0.508	3.43	6.05	29.8
2		0.198	99.80			0.512	3.45	6.09	29.8
3		0.197	99.80			0.511	3.49	6.07	30.6
1	ไยมะพร้าวที่สกัด ด้วย NaOHที่ไม่ ปรับปรุ้งด้วยกรดซิตริก	0.331	99.67	99.67	0.0031	0.507	3.47	6.07	29.8
2		0.327	99.67			0.506	3.49	6.08	29.8
3		0.325	99.68			0.506	3.49	6.07	30.6

## ตารางแสดงผลข้อมูล (ต่อ)

### 1.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง

ขวดที่	ความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ใช้ปรับปรุง (mM)	ค่าการดูดซับที่วัดได้จากเครื่อง AAS	ร้อยละการดูดซับ	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนักไยมะพร้าว (g)	pH สารละลายเริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	0.2	0.263	98.66	98.77	0.1179	0.506	2.33	6.12	31.0
2		0.221	98.90						
3		0.243	98.76						
1	0.4	0.137	99.32	99.32	0.0100	0.537	2.35	6.11	31.1
2		0.139	99.31						
3		0.135	99.33						
1	0.6	0.385	98.07	98.10	0.0236	0.508	2.36	6.11	31.2
2		0.379	98.11						
3		0.377	98.12						
1	0.8	0.507	97.47	97.47	0.0252	0.511	2.35	6.12	31.0
2		0.501	97.50						
3		0.511	97.45						
1	1.0	0.686	96.57	96.59	0.0673	0.501	2.35	6.11	31.0
2		0.693	96.54						

ตารางแสดงผลข้อมูล (ต่อ)

3		0.667	96.67			0.518	2.34	6.05	31.1
1	ไยมะพร้าวที่สกัด ด้วย NaOH ที่ไม่ ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก	0.753	96.21	96.21	0.0225	0.505	2.35	6.11	31.0
2		0.754	96.23			0.528	2.36	6.11	31.0
3		0.763	96.19			0.507	2.36	6.13	31.0

ตารางที่ ก-1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสม

1.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม (นิกเกิล)

ขวดที่	ระยะเวลาการสัมผัส ของไยมะพร้าว ที่ปรับปรุง(นาท)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ(°C)
1	0	0.199	99.80	99.80	0.0026	0.511	2.38	6.01	31.2
2		0.194	99.81			0.507	2.36	6.02	31.1
3		0.193	99.80			0.509	2.35	6.02	31.4
1	30	0.195	99.81	99.81	0.0006	0.507	2.37	6.01	31.0
2		0.195	99.81			0.507	2.35	6.03	31.2
3		0.194	99.81			0.507	2.34	6.00	31.3
1	60	0.199	99.80	99.80	0.0017	0.504	2.35	6.01	31.1
2		0.196	99.80			0.507	2.37	6.02	31.0

ตารางแสดงผลข้อมูล (ต่อ)

ขวดที่	ระยะเวลาการต้มผัก ของโยมะพร้าว ที่ปรับปรุง(นาที)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก โยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับpH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ(°C)
3		0.199	99.80			0.505	2.36	6.05	31.3
1	90	0.186	99.81	99.81	0.0021	0.513	2.36	6.04	31.2
1		0.185	99.82			0.511	2.37	6.02	
3		0.189	99.81			0.509	2.38	6.03	31.4
1		0.145	99.86			0.506	2.35	6.06	31.2
2	120	0.147	99.85	99.85	0.0015	0.507	2.35	6.05	31.3
3		0.144	99.86			0.507	2.36	6.03	31.1
1		0.178	99.82			0.505	2.34	6.02	31.2
2	150	0.187	99.81	99.82	0.0055	0.505	2.37	6.01	31.1
3		0.177	99.82			0.507	2.35	6.04	31.3
1		0.176	99.82			0.504	2.36	6.03	31.0
2	180	0.173	99.83	99.83	0.0035	0.509	2.35	6.01	31.2
3		0.169	99.83			0.508	2.36	6.03	31.1

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

### 1.2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของไยมะพร้าวกับกรดซิตริกที่เหมาะสม (ทองแดง)

ขวดที่	ระยะเวลาการสัมผัส ของไยมะพร้าว ที่ปรับปรุง (นาท)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย $\text{Cu}^{2+}$	
								pH	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	0	0.850	95.75	95.77	0.1042	0.505	2.35	6.10	30.1
2		0.864	95.68			0.510	2.34	6.09	30.1
3		0.823	95.89			0.504	2.35	6.10	30.1
1	30	0.602	96.99	96.77	0.4973	0.515	2.35	6.21	31.0
2		0.578	97.11			0.507	2.34	6.09	31.0
3		0.761	96.20			0.501	2.35	6.08	31.0
1	60	0.550	97.25	97.27	0.1042	0.503	2.34	6.10	30.1
2		0.564	97.18			0.505	2.34	6.11	30.9
3		0.523	97.39			0.506	2.33	6.10	30.9
1	90	0.412	97.94	97.94	0.0675	0.509	2.35	6.10	31.0
2		0.398	98.01			0.512	2.36	6.12	31.1
3		0.425	97.88			0.506	2.34	6.09	31.0
1	120	0.202	98.99	98.97	0.0284	0.508	2.35	6.11	31.0
2		0.205	98.98			0.506	2.34	6.11	30.9

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ขวดที่	ระยะเวลาการต้มผัด ของไยมะพร้าว ที่ปรับปรุง (นาที)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
3		0.213	98.94			0.512	2.34	6.10	31.1
1	150	0.499	97.51	97.52	0.0388	0.507	2.35	6.08	30.8
2		0.503	97.49			0.502	2.36	6.08	31.0
3		0.488	97.56			0.504	2.33	6.10	31.0
1		0.511	97.45			0.516	2.35	6.11	30.6
2	180	0.518	97.41	97.42	0.0218	0.520	2.35	6.10	30.9
3		0.519	97.41			0.514	2.36	6.10	30.8

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ก-1.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบ

1.3.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิของใยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกที่เหมาะสม (นิกเกิล)

ขวดที่	อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงใยมะพร้าว (°C)	ค่าการดูดซับที่วัดได้จากเครื่อง AAS	ร้อยละการดูดซับ	ค่าเฉลี่ยร้อยละของการดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนักใยมะพร้าว (g)	pH สารละลายเริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	อุณหภูมิห้อง(30)	0.302	99.70	99.70	0.0021	0.503	2.36	6.00	31.2
2		0.298	99.70			0.512	2.35	6.02	31.2
3		0.301	99.70			0.506	2.35	6.02	31.1
1	80	0.280	99.72	99.72	0.0035	0.516	2.34	6.03	31.0
2		0.283	99.72			0.520	2.36	6.02	31.1
3		0.276	99.72			0.511	2.37	6.01	31.1
1	100	0.245	99.76	99.75	0.0042	0.501	2.35	6.02	31.2
2		0.251	99.75			0.502	2.36	6.03	31.3
3		0.253	99.75			0.507	2.33	6.02	31.2
1	120	0.228	99.77	99.77	0.0015	0.509	2.36	6.03	31.2
2		0.229	99.77			0.509	2.34	6.02	31.2
3		0.226	99.77			0.514	2.35	6.01	31.1
1	140	0.256	99.74	99.74	0.0035	0.512	2.36	6.02	31.2

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ขวดที่	อุณหภูมิที่ใช้ในการ ปรับปรุงไยมะพร้าว (°C)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
2		0.259	99.74			0.510	2.37	6.03	31.3
3		0.252	99.75			0.515	2.35	6.04	31.2

1.3.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกที่เหมาะสม (ทองแดง)

ขวดที่	อุณหภูมิที่ใช้ในการ ปรับปรุงไยมะพร้าว (°C)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	อุณหภูมิห้อง (30)	0.669	96.66	96.64	0.0126	0.503	2.36	6.09	30.5
2		0.674	96.63			0.502	2.35	6.15	31.0
3		0.671	96.65			0.502	2.35	6.11	30.6
1	80	0.556	97.22	97.14	0.0695	0.505	2.34	6.13	30.7
2		0.581	97.10			0.507	2.37	6.10	31.0
3		0.579	97.11			0.500	2.36	6.11	31.0
1	100	0.344	98.28	98.23	0.0437	0.502	2.35	6.11	30.8

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ขวดที่	อุณหภูมิที่ใช้ในการ ปรับปรุงไยมะพร้าว (°C)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
2		0.361	98.20			0.505	2.33	6.10	31.0
3		0.356	98.22			0.501	2.33	6.11	31.0
1		0.220	98.90			0.502	2.35	6.11	31.0
2	120	0.217	98.92	98.92	0.0202	0.511	2.34	6.11	30.7
3		0.212	98.94			0.506	2.35	6.12	31.0
1	140	0.489	97.56	97.60	0.0369	0.501	2.36	6.11	30.6
2		0.475	97.63			0.504	2.37	6.11	30.7
3		0.478	97.61			0.505	2.36	6.11	30.7

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ก-1.4 การศึกษาผลของระยะเวลาในการอบตัวดูดซับ

1.4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการอบตัวดูดซับที่เหมาะสม (นิกเกิล)

ขวดที่	เวลาที่ใช้อบ ไยมะพร้าว ที่ปรับปรุง(นาท)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ(°C)
1	30	0.291	99.71	99.71	0.0056	0.512	2.37	6.04	31.2
2		0.298	99.70			0.507	2.35	6.03	31.1
3		0.287	99.71			0.510	2.35	6.02	31.2
1	60	0.254	99.75	99.73	0.0110	0.509	2.36	6.01	31.0
2		0.276	99.72			0.511	2.36	6.02	31.4
3		0.266	99.73			0.514	2.37	6.04	31.1
1	90	0.211	99.79	99.79	0.0071	0.507	2.35	6.03	31.2
2		0.206	99.79			0.502	2.36	6.03	31.3
3		0.220	99.78			0.508	2.35	6.02	31.0
1	120	0.080	99.92	99.91	0.0080	0.509	2.36	6.01	31.2
2		0.089	99.91			0.510	2.37	6.02	31.2
3		0.096	99.90			0.515	2.37	6.04	31.1
1	150	0.150	99.85	99.85	0.0044	0.512	2.36	6.01	31.2

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ขวดที่	เวลาที่ใช้อบ ไยมะพร้าว ที่ปรับปรุง(นาทื)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ(°C)
2		0.158	99.84			0.513	2.37	6.03	31.3
3		0.157	99.84			0.515	2.36	6.02	31.2

1.4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการอบตัวดูดซับที่เหมาะสม (ทองแดง)

ขวดที่	เวลาที่ใช้อบ ไยมะพร้าว ที่ปรับปรุง (นาทื)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	30	0.612	96.94	96.97	0.0278	0.512	2.37	6.03	31.0
2		0.608	96.96			0.507	2.36	6.02	31.2
3		0.601	97.00			0.510	2.37	6.03	31.2
1	60	0.506	97.47	97.49	0.0236	0.509	2.35	6.05	31.1
2		0.504	97.48			0.511	2.37	6.01	31.2
3		0.497	97.52			0.514	2.36	6.02	31.1
1	90	0.408	97.96	97.97	0.0208	0.507	2.36	6.04	31.2
2		0.402	97.99			0.502	2.37	6.03	31.0

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ขวดที่	เวลาที่ใช้อบ ไขมันพราว ที่ปรับปรุง (นาท)	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไขมันพราว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย $\text{Cu}^{2+}$	
								pH	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )
3		0.410	97.95			0.513	2.35	6.03	31.1
1	120	0.215	98.93	98.93	0.0126	0.508	2.36	6.02	31.1
2		0.212	98.94			0.511	2.37	6.03	31.2
3		0.217	98.92			0.506	2.36	6.05	31.1
1		0.616	96.92			0.507	2.37	6.01	31.1
2	150	0.629	96.86	96.90	0.0425	0.510	2.35	6.02	31.0
3		0.613	96.94			0.515	2.36	6.03	31.2

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ก-2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ

ตารางที่ ก-2.1 การศึกษาผลของค่า pH ที่เหมาะสม

2.1.1 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม (นิกเกิล)

ขวดที่	pH	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	3	0.238	99.76	99.76	0.0059	0.522	2.36	3.04	31.0
2		0.247	99.75			0.517	2.35	3.03	31.2
3		0.249	99.75			0.510	2.35	3.01	31.3
1	4	0.205	99.80	99.80	0.0035	0.509	2.37	4.03	31.1
2		0.201	99.80			0.508	2.36	4.02	31.2
3		0.198	99.80			0.512	2.37	4.06	31.0
1	5	0.066	99.93	99.93	0.0065	0.506	2.36	5.03	31.2
2		0.059	99.94			0.511	2.36	5.08	31.3
3		0.072	99.93			0.502	2.35	5.02	31.1
1	6	0.097	99.90	99.90	0.0075	0.518	2.35	6.03	31.2
2		0.105	99.90			0.509	2.37	6.02	31.1
3		0.112	99.89			0.515	2.38	6.05	31.1
1	7	0.149	99.85	99.84	0.0065	0.514	2.36	7.07	31.0
2		0.155	99.85			0.510	2.35	7.03	31.2
3		0.162	99.84			0.505	2.38	7.05	31.1

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

2.1.2 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม (ทองแดง)

ขวดที่	pH	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไขมันพริ้ว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	3	0.633	96.84	96.82	0.0397	0.506	2.34	3.02	31.2
2		0.645	96.78			0.505	2.35	3.05	31.2
3		0.630	96.85			0.501	2.35	3.05	31.2
1	4	0.433	97.84	97.82	0.0397	0.503	2.33	4.00	31.0
2		0.445	97.78			0.501	2.34	4.05	31.0
3		0.430	97.85			0.502	2.35	4.03	31.0
1	5	0.205	98.98	98.96	0.0126	0.501	2.33	5.01	31.1
2		0.210	98.95			0.504	2.34	5.01	31.1
3		0.207	98.97			0.505	2.34	5.00	31.0
1	6	0.256	98.72	98.69	0.0278	0.505	2.35	6.00	31.2
2		0.267	98.67			0.508	2.35	6.00	31.1
3		0.263	98.69			0.503	2.36	6.01	31.1
1	7	0.124	99.38	99.41	0.0229	0.502	2.34	7.00	31.1
2		0.118	99.41			0.505	2.35	7.01	31.1
3		0.115	99.43			0.506	2.35	7.01	31.1

ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ก-2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการดูดซับ

2.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม (นิกเกิล)

ขวดที่	ระยะเวลาสัมพัทธ์ (นาที)	ค่าการดูดซับที่วัดได้จากเครื่อง AAS	ร้อยละการดูดซับ	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนักยี่มะพร้าว (g)	pH สารละลายเริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ(°C)
1	10	0.051	99.95	99.94	0.0057	0.509	2.35	5.03	31.1
2		0.059	99.94			0.510	2.37	5.02	31.0
3		0.062	99.94			0.515	2.37	5.06	31.3
1	30	0.104	99.90	99.89	0.0035	0.512	2.36	5.04	31.2
2		0.111	99.89			0.513	2.37	5.02	31.1
3		0.107	99.89			0.505	2.36	5.03	31.1
1	60	0.150	99.85	99.84	0.0078	0.502	2.35	5.01	31.2
2		0.165	99.84			0.508	2.35	5.07	31.3
3		0.161	99.84			0.517	2.36	5.03	31.1
1	120	0.183	99.82	99.81	0.0032	0.503	2.36	5.01	31.2
2		0.188	99.81			0.512	2.37	5.02	31.1
3		0.189	99.81			0.506	2.35	5.04	31.4
1	180	0.211	99.79	99.79	0.0047	0.516	2.36	5.02	31.0
2		0.209	99.79			0.520	2.35	5.01	31.2
3		0.202	99.80			0.511	2.36	5.03	31.1

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

### 2.2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม (ทองแดง)

ขวดที่	ระยะเวลาสัมพัทธ์ (นาที)	ค่าการดูดซับที่วัดได้จากเครื่อง AAS	ร้อยละการดูดซับ	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนักไยมะพร้าว (g)	pH สารละลายเริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>			
								pH	อุณหภูมิ (°C)		
1	10	0.198	99.01	98.99	0.0208	0.502	2.35	5.03	31.2		
2		0.204	98.98			0.508	2.37			5.02	31.0
3		0.206	98.97			0.509	2.37			5.03	31.1
1	30	0.227	98.87	98.86	0.0161	0.510	2.36	5.04	31.1		
2		0.232	98.84			0.515	2.37			5.02	31.2
3		0.226	98.87			0.512	2.36			5.03	31.1
1	60	0.269	98.66	98.64	0.0161	0.508	2.35	5.01	31.2		
2		0.275	98.63			0.503	2.35			5.03	31.1
3		0.270	98.65			0.514	2.36			5.03	31.1
1	120	0.293	98.54	98.56	0.0225	0.503	2.36	5.01	31.1		
2		0.288	98.56			0.511	2.37			5.02	31.0
3		0.284	98.58			0.505	2.35			5.03	31.0
1	180	0.311	98.45	98.45	0.0076	0.517	2.36	5.02	31.1		
2		0.309	98.46			0.520	2.35			5.01	31.2
3		0.312	98.44			0.508	2.36			5.01	31.2

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ก-3 การศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก

ก-3.1 ผลการศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก (นิกเกิล)

ขวดที่	ลักษณะไยมะพร้าว	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Ni <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	ปรับปรุงด้วย กรดซิตริก	0.099	99.90	99.89	0.0074	0.509	2.35	6.02	31.3
2		0.113	99.89					6.01	31.1
3		0.110	99.89					6.02	31.2
1	ไม่ปรับปรุงด้วย กรดซิตริก	0.347	99.65	99.66	0.0062	0.518	2.36	6.04	31.1
2		0.338	99.66					6.03	31.4
3		0.350	99.65					6.03	31.2

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ก-3.2 ผลการศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก (ทองแดง)

ขวดที่	ลักษณะไยมะพร้าว	ค่าการดูดซับ ที่วัดได้จาก เครื่อง AAS	ร้อยละ การดูดซับ	ค่าเฉลี่ย ร้อยละของ การดูดซับ	ค่า SD	น้ำหนัก ไยมะพร้าว (g)	pH สารละลาย เริ่มต้น	ปรับ pH ของสารละลาย Cu <sup>2+</sup>	
								pH	อุณหภูมิ (°C)
1	ปรับปรุงด้วย กรดซิตริก	0.198	99.01	98.99	0.0208	0.502	2.35	5.03	30.8
2		0.204	98.98			0.508	2.37	5.02	30.5
3		0.206	98.97			0.509	2.37	5.03	31.0
1	ไม่ปรับปรุงด้วย กรดซิตริก	0.676	96.62	96.58	0.0425	0.504	2.35	5.05	30.8
2		0.685	96.58			0.503	2.34	5.02	30.7
3		0.693	96.54			0.506	2.33	5.03	30.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล

ข-4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพใยมะพร้าวด้วยกรดซิตริก

ข-4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซิตริก

ตารางที่ ข-4.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิล

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.048 <sup>a</sup>	5	.010	433.450	.000
Intercept	179230.823	1	179230.823	8.065E9	.000
Trt	.048	5	.010	433.450	.000
Error	.000	12	2.222E-5		
Total	179230.872	18			
Corrected Total	.048	17			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .992)

trt	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a</sup>				
0.0	3	99.6733		
0.2	3		99.8000	
1.0	3		99.8000	
0.8	3		99.8033	
0.6	3		99.8067	
0.4	3			99.8333
Sig.		1.000	.134	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.22E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ข-4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซिटริกที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดง

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22.261 <sup>a</sup>	5	4.452	1.272E3	.000
Intercept	171973.530	1	171973.530	4.914E7	.000
Trt	22.261	5	4.452	1.272E3	.000
Error	.042	12	.004		
Total	171995.834	18			
Corrected Total	22.303	17			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

### ร้อยละของการดูดซับ

trt	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
Duncan <sup>a</sup> 0.0	3	96.2100					
1.0	3		96.5933				
0.8	3			97.4733			
0.6	3				98.1000		
0.2	3					98.7733	
0.4	3						99.3200
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .004.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ข-4.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัสที่เหมาะสม

ตารางที่ ข-4.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของโยมะพร้าวกับกรดซิตริกที่เหมาะสม (นิกเกิล)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.007 <sup>a</sup>	6	.001	46.133	.000
Intercept	209236.695	1	209236.695	8.788E9	.000
Trt	.007	6	.001	46.133	.000
Error	.000	14	2.381E-5		
Total	209236.702	21			
Corrected Total	.007	20			

a. R Squared = .952 (Adjusted R Squared = .931)

### ร้อยละของการดูดซับ

Trt	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup> 60	3	99.8000				
0	3	99.8033	99.8033			
30	3		99.8100	99.8100		
90	3			99.8133		
150	3			99.8167		
180	3				99.8267	
120	3					99.8567
Sig.		.417	.116	.134	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.38E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ข-4.2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสของใยมะพร้าวกับกรดซिटริกที่เหมาะสม  
(ทองแดง)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	24.120 <sup>a</sup>	6	4.020	102.899	.000
Intercept	199994.115	1	199994.115	5.119E6	.000
Trt	24.120	6	4.020	102.899	.000
Error	.547	14	.039		
Total	200018.781	21			
Corrected Total	24.666	20			

a. R Squared = .978 (Adjusted R Squared = .968)

### ร้อยละของการดูดซับ

trt	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup> 0	3	95.7733				
30	3		96.7667			
60	3			97.2733		
180	3			97.4233		
90	3				97.9433	
120	3					98.9700
150	3					98.9700
Sig.		1.000	1.000	.368	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .039.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

### ข-4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบ

ตารางที่ ข-4.3.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิของโยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกที่เหมาะสม (นิกเกิล)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.009 <sup>a</sup>	4	.002	171.750	.000
Intercept	149213.035	1	149213.035	1.119E10	.000
Trt	.009	4	.002	171.750	.000
Error	.000	10	1.333E-5		
Total	149213.044	15			
Corrected Total	.009	14			

a. R Squared = .986 (Adjusted R Squared = .980)

#### ร้อยละของการดูดซับ

Trt	N	Subset					
		1	2	3	4	5	
Duncan <sup>a</sup>	30	3	99.7000				
	80	3		99.7200			
	140	3			99.7433		
	100	3				99.7533	
	120	3					99.7700
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.33E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ข-4.3.2 ผลการศึกษาอนุภูมิภาคของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริกที่เหมาะสม (ทองแดง)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.606 <sup>a</sup>	4	2.401	1.482E3	.000
Intercept	143204.753	1	143204.753	8.840E7	.000
Trt	9.606	4	2.401	1.482E3	.000
Error	.016	10	.002		
Total	143214.375	15			
Corrected Total	9.622	14			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

### ร้อยละของการดูดซับ

Trt	N	Subset					
		1	2	3	4	5	
Duncan <sup>a</sup>	30	3	96.6467				
	80	3		97.1433			
	140	3			97.6000		
	100	3				98.2333	
	120	3					98.9200
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

### ข-4.4 การศึกษาผลของระยะเวลาในการรอบตัวดูดซับ

#### ตารางที่ ข-4.4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการรอบตัวดูดซับที่เหมาะสม (นิกเกิล)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.082 <sup>a</sup>	4	.020	235.654	.000
Intercept	149388.624	1	149388.624	1.724E9	.000
Trt	.082	4	.020	235.654	.000
Error	.001	10	8.667E-5		
Total	149388.707	15			
Corrected Total	.083	14			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .985)

#### ร้อยละของการดูดซับ

Trt	N	Subset					
		1	2	3	4	5	
Duncan <sup>a</sup>	30	3	99.7067				
	60	3		99.7333			
	90	3			99.7867		
	120	3				99.8433	
	150	3					99.9100
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 8.67E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ข-4.4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการปรับตัวดูดซับที่เหมาะสม (ทองแดง)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8.351 <sup>a</sup>	4	2.088	2.677E3	.000
Intercept	143038.697	1	143038.697	1.834E8	.000
Trt	8.351	4	2.088	2.677E3	.000
Error	.008	10	.001		
Total	143047.056	15			
Corrected Total	8.359	14			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ร้อยละของการดูดซับ

Trt	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup>						
150	3	96.9067				
30	3		96.9667			
60	3			97.4900		
90	3				97.9667	
120	3					98.9300
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

### ข-5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ

#### ข-5.1 การศึกษาผลของค่า pHที่เหมาะสม

#### ตารางที่ ข-5.1.1 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม (นิกเกิล)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.063 <sup>a</sup>	4	.016	587.750	.000
Intercept	149538.356	1	149538.356	5.608E9	.000
Trt	.063	4	.016	587.750	.000
Error	.000	10	2.667E-5		
Total	149538.419	15			
Corrected Total	.063	14			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

#### ร้อยละของการดูดซับ

	Trt	N	Subset				
			1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup>	3	3	99.7533				
	5	3		99.8000			
	6	3			99.8467		
	4	3				99.8967	
	7	3					99.9333
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.67E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ข-5.1.2 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสม (ทองแดง)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.668 <sup>a</sup>	4	3.167	3.626E3	.000
Intercept	145069.201	1	145069.201	1.661E8	.000
Trt	12.668	4	3.167	3.626E3	.000
Error	.009	10	.001		
Total	145081.878	15			
Corrected Total	12.676	14			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

### ร้อยละของการดูดซับ

trt	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup>						
3	3	96.8233				
4	3		97.8233			
6	3			98.6933		
5	3				98.9667	
7	3					99.4067
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

### ข-5.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการดูดซับ

ตารางที่ ข-5.2.1 ผลการศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม (นิกเกิล)

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.045 <sup>a</sup>	4	.011	335.700	.000
Intercept	149572.305	1	149572.305	4.487E9	.000
Trt	.045	4	.011	335.700	.000
Error	.000	10	3.333E-5		
Total	149572.350	15			
Corrected Total	.045	14			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

#### ร้อยละของการดูดซับ

trt	N	Subset					
		1	2	3	4	5	
Duncan <sup>a</sup>	180	3	99.7933				
	120	3		99.8133			
	60	3			99.8433		
	30	3				99.8933	
	10	3					99.9433
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3.33E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ข-5.2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม (ทองแดง)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ร้อยละของการดูดซับ

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.578 <sup>a</sup>	4	.145	492.750	.000
Intercept	146127.324	1	146127.324	4.982E8	.000
Trt	.578	4	.145	492.750	.000
Error	.003	10	.000		
Total	146127.905	15			
Corrected Total	.581	14			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

### ร้อยละของการดูดซับ

	Trt	N	Subset				
			1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup>	180	3	98.4500				
	120	3		98.5600			
	60	3			98.6467		
	30	3				98.8600	
	10	3					98.9867
Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ข-6 การศึกษาการดูดซับของโพลิเมอร์ที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดซิตริก  
 ตารางที่ ข-6.1 ผลการศึกษาการดูดซับของโพลิเมอร์ที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วย  
 กรดซิตริก (นิกเกิล)

Group Statistics

trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
ร้อยละของการดูดซับ ปรับปรุง	3	99.8933	.00577	.00333
ไม่ปรับปรุง	3	99.6533	.00577	.00333

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
ร้อยละของการดูดซับ	Equal variances assumed	.000	1.000	50.912	4	.000	.24000	.00471	.22691	.25309
	Equal variances not assumed			50.912	4.000	.000	.24000	.00471	.22691	.25309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงข้อมูล (ต่อ)

ตารางที่ ข-6.2 ผลการศึกษาการดูดซับของไยมะพร้าวที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการดซิทริก (ทองแดง)

Group Statistics

trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
ร้อยละของการดูดซับ ปรับปรุง	3	98.9867	.02082	.01202
ไม่ปรับปรุง	3	96.5800	.04000	.02309

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
ร้อยละของการดูดซับ	Equal variances assumed	.613	.477	92.443	4	.000	2.40667	.02603	2.33438	2.47895
	Equal variances not assumed			92.443	3.009	.000	2.40667	.02603	2.32396	2.48937

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค-1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

### 1.1 น้ำเสียสังเคราะห์ของทองแดง

ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมสารละลาย Stock ( $\text{Cu}^{2+}$ ) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หาปริมาณ  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ที่ใช้

น้ำหนักโมเลกุล  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 249.5 \text{ g}$

ปริมาตรที่ใช้คำนวณจาก

$\text{Cu}^{2+}$  มีมวลอะตอม 63.5 g จากสารตั้งต้น  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  มีมวลโมเลกุล 249.5 g

$$\begin{aligned} \text{ต้องการ } \text{Cu}^{2+} \text{ เข้มข้น } 1,000 \text{ mg/L} \text{ ต้องชั่ง } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{249.5 \text{ g} \times 1000 \text{ mg/L}}{63.5 \text{ g}} \\ &= 3929.1339 \text{ mg} \text{ หรือ } 3.9291 \text{ g/L} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของทองแดงความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่ง  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ประมาณ 3.93 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นเติม กรดไนตริกเข้มข้น 20% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เพื่อรักษาสภาพสารละลาย แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 ลิตร

### 1.2 น้ำเสียสังเคราะห์ของนิกเกิล

ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมสารละลาย Stock ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

หาปริมาณ  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ที่ใช้

น้ำหนักโมเลกุล  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 262.8477 \text{ g}$

ปริมาตรที่ใช้คำนวณจาก

$\text{Ni}^{2+}$  มีมวลอะตอม 58.6934 g จากสารตั้งต้น  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  มวลโมเลกุล 262.8477 g

$$\begin{aligned} \text{ต้องการ } \text{Ni}^{2+} \text{ เข้มข้น } 1,000 \text{ mg/L} \text{ ต้องชั่ง } \text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \frac{262.8477 \text{ g} \times 1000 \text{ mg/L}}{58.6934 \text{ g}} \\ &= 4478.3178 \text{ mg} \text{ หรือ } 4.4783 \text{ g/L} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของนิกเกิลความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยชั่ง  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ประมาณ 4.4783 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น 20% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เพื่อรักษาสภาพสารละลายแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดของขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 ลิตร

## ค-2 การเตรียมสารละลาย

### 2.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad \frac{g}{mW} &= \frac{cv}{1000} \\ g &= \frac{0.1 \text{ M} \times 1000 \text{ ml}}{1000} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 4 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยชั่ง โซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 4 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร

### 2.2 สารละลายกรดซิตริก ( $C_6H_{10}O_8$ ) ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

เตรียมสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

$$\begin{aligned} \text{จากกรดซิตริก 1 mM} &= 210 \text{ g/L} \\ \text{จากสูตร} \quad \frac{g}{mW} &= \frac{cv}{1000} \\ g &= \frac{1 \text{ mM} \times 1000 \text{ ml}}{1000} \times 210 \text{ g/mol} \\ &= 210 \text{ mg หรือ } 0.21 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์โดยชั่งกรดซิตริก 0.21 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้คือ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิโมลาร์

### 2.3 สารละลายกรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากกรดไนตริกเข้มข้น 65%

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } C &= \frac{\% \times 10 \times D}{M} && \text{เมื่อ } C \text{ คือ ความเข้มข้น mol/L} \\ &= \frac{65\% \times 10 \times 2.2 \text{ g/mol}}{63 \text{ g/mol}} && D \text{ คือ ความหนาแน่น} \\ &= 22.6984 \text{ โมลาร์ } M \text{ คือ มวลโมเลกุล g/mol} \end{aligned}$$

จะได้ว่า กรดไนตริก 65% เข้มข้น 22.6984 โมลาร์ คำนวณปริมาตรที่ใช้

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } C_1V_1 &= C_2V_2 \\ 22.6984 \text{ M} \times V &= 0.1 \text{ M} \times 1000 \text{ mL} \\ V &= \frac{0.1 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}}{22.6984 \text{ M}} \\ &= 4.4056 \text{ mL} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยเจือจางจากสารละลายกรดไนตริก 65% มาประมาณ 4.4 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร

### 2.4 สารละลายกรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) เจือจาง 20%

เตรียมสารละลายกรดไนตริกเจือจาง 20% โดยเตรียมจากสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65% คำนวณจาก

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } C_1V_1 &= C_2V_2 \\ 65\% \times V &= 20\% \times 1000 \text{ mL} \\ V &= \frac{20\% \times 1000 \text{ mL}}{65\%} \\ &= 307.6923 \text{ mL} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายกรดไนตริกเจือจาง 20% โดยเตรียมจากสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65% มาประมาณ 307.7 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร

## 2.5 สารละลายเลด (II) ไนเตรต ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

การเตรียมสารละลายเลดไนเตรตสำหรับทดสอบปริมาณกรดซิดริกที่มากเกินไปในยมะพร้าว

จาก  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  มวลโมเลกุล = 331.2 g/mol

ต้องการ  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  เข้มข้น = 0.1 M

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{g}{mW} = \frac{cv}{1000}$$

$$g = \frac{0.1 \text{ mol/L} \times 100 \text{ ml}}{1000 \text{ mL} \times 1 \text{ L}} \times 331.2 \text{ g/mol}$$

$$= 3.312 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายเลด (II) ไนเตรต ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์โดยซึ่งมาประมาณ 3.312 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร



### ค-3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงและนิกเกิลในการวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

#### อุปกรณ์และสารเคมี

1. สารมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
4. ปิเปตขนาด 1, 2, 5, 10 มิลลิลิตร
5. จุกยาง
6. ปีกเกอร์

#### วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดง

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรจำนวน 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ตามลำดับแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
3. เก็บสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตรใส่ในขวดพลาสติก เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการวัดหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง AAS

#### วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานนิกเกิล

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรจำนวน 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ตามลำดับแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
3. เก็บสารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตรใส่ในขวดพลาสติก เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการวัดหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง AAS

#### ค-4 การคำนวณการตกตะกอนของสารประกอบ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ และ $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ตั้งแต่ pH 3-7

การศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับไอออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) และนิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ในการทดลองได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ทำการปรับ pH ซึ่งเมื่อถึง pH ที่ค่าหนึ่งจะเกิดการตกตะกอนซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นคือ ตะกอนของสารประกอบ ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) และ ( $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ) ดังนั้นจะต้องมีการศึกษาที่ pH เท่าใด จะเกิดการตกตะกอนของ ( $\text{Cu}^{2+}$ ) เป็น ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) และ ( $\text{Ni}^{2+}$ ) เป็น ( $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ) โดยสามารถหาได้จากการคำนวณค่าของผลคูณไอออนเปรียบเทียบกับค่า  $K_{sp}$  ซึ่งเป็นค่าคงที่ผลคูณสารละลาย

ถ้าค่าผลคูณไอออนมีค่ามากกว่าค่า  $K_{sp}$  แสดงว่า เกิดการตกตะกอนขึ้น

ถ้าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่าค่า  $K_{sp}$  แสดงว่า ไม่เกิดการตกตะกอน

ถ้าค่าผลคูณไอออนมีค่าเท่ากับค่า  $K_{sp}$  แสดงว่า สารละลายอิ่มตัวพอดี

#### การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH ต่างๆ ของ Cu

ไอออนในที่นี้คือ  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{OH}^-$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



กำหนดค่าคงที่ผลคูณสารละลาย ( $K_{sp}$ ) ของ  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  เท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19}$  โมลาร์

#### 1. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 3

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad [\text{Cu}^{2+}] &= 7.8 \times 10^{-4} \\ [\text{OH}^-] &= 10^{-11} \\ \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2 \\ \text{ดังนั้น} \quad 1.6 \times 10^{-19} &= (7.8 \times 10^{-4}) \times (10^{-11})^2 \\ &= 7.8 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 3 ไม่เกิดตะกอนของ ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ )

#### 2. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 4

$$\begin{aligned} \text{โดย} \quad [\text{Cu}^{2+}] &= 7.8 \times 10^{-4} \\ [\text{OH}^-] &= 10^{-10} \\ \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2 \\ \text{ดังนั้น} \quad 1.6 \times 10^{-19} &= (7.8 \times 10^{-4}) \times (10^{-10})^2 \\ &= 7.8 \times 10^{-24} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 4 ไม่เกิดตะกอนของ ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ )

### 3. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 5

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad [\text{Cu}^{2+}] &= 7.8 \times 10^{-4} \\
 [\text{OH}] &= 10^{-9} \\
 \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Cu}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad 1.6 \times 10^{-19} &= (7.8 \times 10^{-4}) \times (10^{-9})^2 \\
 &= 7.8 \times 10^{-22}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 5 ไม่เกิดตะกอนของ  $(\text{Cu}(\text{OH})_2)$

### 4. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 6

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad [\text{Cu}^{2+}] &= 7.8 \times 10^{-4} \\
 [\text{OH}] &= 10^{-8} \\
 \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Cu}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad 1.6 \times 10^{-19} &= (7.8 \times 10^{-4}) \times (10^{-8})^2 \\
 &= 7.8 \times 10^{-20}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่ามากกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 6 เกิดการตกตะกอนของ  $(\text{Cu}(\text{OH})_2)$

### 5. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 7

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad [\text{Cu}^{2+}] &= 7.8 \times 10^{-4} \\
 [\text{OH}] &= 10^{-7} \\
 \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Cu}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad 1.6 \times 10^{-19} &= (7.8 \times 10^{-4}) \times (10^{-7})^2 \\
 &= 7.8 \times 10^{-18}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่ามากกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 7 เกิดการตกตะกอนของ  $(\text{Cu}(\text{OH})_2)$

### 6. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 8

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad [\text{Cu}^{2+}] &= 7.8 \times 10^{-4} \\
 [\text{OH}] &= 10^{-6} \\
 \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Cu}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad 1.6 \times 10^{-19} &= (7.8 \times 10^{-4}) \times (10^{-6})^2 \\
 &= 7.8 \times 10^{-16}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่ามากกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 8 เกิดการตกตะกอนของ  $(\text{Cu}(\text{OH})_2)$

### การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH ต่างๆ ของ Ni

ไอออนในที่นี้คือ  $\text{Ni}^{2+}$  และ  $\text{OH}^-$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



กำหนดค่าคงที่ผลคูณสารละลาย ( $K_{sp}$ ) ของ  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  เท่ากับ  $2 \times 10^{-15}$  โมลาร์

#### 1. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 3

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad [\text{Ni}^{2+}] &= 4.26 \times 10^{-3} \\
 [\text{OH}^-] &= 10^{-11} \\
 \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Ni}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad 2.0 \times 10^{-16} &= (4.26 \times 10^{-3}) \times (10^{-11})^2 \\
 &= 4.26 \times 10^{-25}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 3 ไม่เกิดตะกอนของ  $(\text{Ni}(\text{OH})_2)$

#### 2. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 4

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad [\text{Ni}^{2+}] &= 4.26 \times 10^{-3} \\
 [\text{OH}^-] &= 10^{-10} \\
 \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Ni}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad 2.0 \times 10^{-16} &= (4.26 \times 10^{-3}) \times (10^{-10})^2 \\
 &= 4.26 \times 10^{-23}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 4 ไม่เกิดตะกอนของ  $(\text{Ni}(\text{OH})_2)$

### 3. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 5

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad & [\text{Ni}^{2+}] = 4.26 \times 10^{-3} \\
 & [\text{OH}] = 10^{-9} \\
 \text{จาก} \quad & K_{sp} = [\text{Ni}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad & 2.0 \times 10^{-16} = (4.26 \times 10^{-3}) \times (10^{-9})^2 \\
 & = 4.26 \times 10^{-21}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 5 ไม่เกิดตะกอนของ  $(\text{Ni}(\text{OH})_2)$

### 4. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 6

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad & [\text{Ni}^{2+}] = 4.26 \times 10^{-3} \\
 & [\text{OH}] = 10^{-8} \\
 \text{จาก} \quad & K_{sp} = [\text{Ni}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad & 2.0 \times 10^{-16} = (4.26 \times 10^{-3}) \times (10^{-8})^2 \\
 & = 4.26 \times 10^{-19}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 6 ไม่เกิดตะกอนของ  $(\text{Ni}(\text{OH})_2)$

### 5. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 7

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad & [\text{Ni}^{2+}] = 4.26 \times 10^{-3} \\
 & [\text{OH}] = 10^{-7} \\
 \text{จาก} \quad & K_{sp} = [\text{Ni}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad & 2.0 \times 10^{-16} = (4.26 \times 10^{-3}) \times (10^{-7})^2 \\
 & = 4.26 \times 10^{-17}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่าน้อยกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 7 ไม่เกิดตะกอนของ  $(\text{Ni}(\text{OH})_2)$

### 6. การคำนวณผลคูณของไอออนที่ pH มีค่าเท่ากับ 8

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad [\text{Ni}^{2+}] &= 4.26 \times 10^{-3} \\
 [\text{OH}] &= 10^{-7} \\
 \text{จาก} \quad K_{sp} &= [\text{Ni}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \\
 \text{ดังนั้น} \quad 2.0 \times 10^{-16} &= (4.26 \times 10^{-3}) \times (10^{-6})^2 \\
 &= 4.26 \times 10^{-15}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าค่าผลคูณไอออนมีค่ามากกว่า  $K_{sp}$

สรุปผล pH 8 ไม่เกิดตะกอนของ  $(\text{Ni}(\text{OH})_2)$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง  
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม  
ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล.</li> <li>น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.</li> </ul>	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  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัลมาลดีไฮด์ (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. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 °C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion

16. โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectrophotometry 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 Technique

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้