

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี
ในน้ำเสียโดยใช้ขุยมะพร้าว

Adsorption Efficiency of Nickel Copper and Zinc in Synthetic
Wastewater by Scaly of coconut



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี
ในน้ำเสียโดยใช้ขุยมะพร้าว

Adsorption Efficiency of Nickel Copper and Zinc in Synthetic
Wastewater by Scaly of coconut



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Adsorption Efficiency of Nickel Copper and Zinc in Synthetic
Wastewater by Scaly of Coconut**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักเกิด ทองแดง และสังกะสีใน
น้ำเสียโดยใช้ขุยมะพร้าว

Adsorption Efficiency of Nickel Copper and Zinc in Synthetic
Wastewater by Scaly of Coconut

นักศึกษา พชรภรณ์ สีนอยู่
พีรณัฐ วงศ์ชัยสัมฤทธิ์
อดิศักดิ์ ศรีวิเชียร

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	
อ. ปัทมา ลีพหาวงศ์	
อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ขุยมะพร้าว	
นักศึกษา	พัชรภรณ์ สีนอยู่	
	พีรณัฐ วงศ์ชัยสัมฤทธิ์	
	อดิศักดิ์ ศรีวิเชียร	
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	คณะ วิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้วัสดุขุยมะพร้าวเป็นตัวดูดซับ โดยนำขุยมะพร้าวมาล้างน้ำให้สะอาดแล้วตากให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาคัดขนาดเป็น 2 ขนาดคือ แบบละเอียด (20 mesh) และแบบหยาบ (10 mesh) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ตัวดูดซับทั้ง 2 ขนาดมีระยะเวลาในการดูดซับที่ดีที่สุดคือ 40 นาที และอัตราเร็วของการปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับของโลหะทั้ง 3 ชนิด คือ 150 รอบ/นาทีของโลหะทั้ง 3 ชนิด ส่วนค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี คือ pH 7, 5, 6 ตามลำดับ การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นขุยมะพร้าวจะดูดซับได้น้อยลง ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นไปตามสมการ Freundlich ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดดีกว่าแบบหยาบ โดยสามารถดูดซับนิกเกิล ได้มากที่สุด 99.00% รองลงมาคือทองแดง 95.49% และสังกะสี 95.49% ตามลำดับ

คำสำคัญ : การดูดซับ , นิกเกิล , ทองแดง , สังกะสี , ขุยมะพร้าว

Special Project Title	Adsorption Efficiency of Nickel Copper and Zinc in Synthetic Wastewater by Scaly of Coconut		
Students	Patcharaporn sinyoo Peeranut Wongchaisomrit Adisak Sriwichean		
Degree	Bachelor of Science	Faculty	Science
Major Program	Chemistry		
Academic Year	2013		
Special Project Advisor	Glinsukol Suwannarat		

ABSTRACT

The Objective of special project was studied about adsorption efficiency of Nickel Copper and Zinc in synthetic waste water by using scaly of coconut as adsorbent. Clean and dry coir dust before baking them at temperature 70° c for 24 hours. And then separated them to 2 grades including fine (20 mesh) and coarse (10 mesh), and baking them again at temperature 70° c for 2 hours. The optimization of adsorption condition such as pH, contact time, speed mixing was investigated by using Atomic Absorption Spectrophotometer. Comparing the adsorption capacity between fine and coarse scaly of coconut was also determined. The highest adsorption capacity was at contact time and speed mixing 40 minutes 150 rpm for all heavy metals. The optimize pH value of Nickel Copper and Zinc was 7, 5, and 6, respectively. The concentrate effect shown that when the concentration increase, the absorption capacity was decreased. The equilibrium data were fitted to Freudlich isotherm. Fine scaly of coconut is better adsorbent. The Most adsorption efficiency of Nickel, Copper, and Zinc were 99.00%, 94.84%, and 95.49%, respectively.

Words : Adsorption, Nickel, Copper, Zinc, Scaly of coconut

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายเป็นอย่างดี ผู้นำเสนอ โครงการพิเศษใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ กิ่งสนธิ์ สุวรรณรัตน์ ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้กรุณาให้คำแนะนำ ติดตามผลการทำงานและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ชมพูนุท ไชยรักษ์ และอาจารย์ปัทมา ลีพหาวงศ์ อาจารย์กรรมการที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางการแก้ไข รวมถึงตรวจสอบและติชมผลงานทำให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.) ที่ให้คำชี้แนะ ให้คำปรึกษา และให้ข้อมูลเกี่ยวกับเนื้อหางานวิจัยใน โครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมีคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

อีกทั้ง คุณบุษยามา แจ็งอรุณ คุณไอลดา ดิษฐเตี้ยหลวง และ คุณกรกมล บวรสิวมนต์ ที่ได้ให้การช่วยเหลือในด้านการอำนวยความสะดวกต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี

พัชรภรณ์ สีนอยุ่
พีรณัฐ วงศ์ชัยสัมฤทธิ์
อติศักดิ์ ศรีวิเชียร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XII
นิยามศัพท์	XVII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	
2.1.1 การตกตะกอนทางเคมี	4
2.1.2 การออสโมซิสย้อนกลับ	5
2.1.3 การระเหย	6
2.1.4 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า	6
2.1.5 การแลกเปลี่ยนไอออน	6
2.1.6 การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง	7
2.1.7 ออกซิเดชัน-รีดักชัน	8
2.1.8 การกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกผลึก	9
2.1.9 การดูดซับ	9
2.1.10 การกายซับ	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 กระบวนการดูดซับ	10
2.3 โลหะหนัก	
2.3.1 นิกเกิล	25
2.3.2 ทองแดง	26
2.3.3 สังกะสี	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	35
3.2 วิธีการทดลอง	
3.2.1 การเตรียมตัวดูดซับ ขุยมะพร้าว	36
3.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ	36
3.2.3 การคายซับ (Desorption)	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการศึกษาลักษณะของพีช	40
4.2 ผลการศึกษาความสามารถของตัวดูดซับต่อโลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี	
4.2.1 ศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม	42
4.2.2 ศึกษาค่า PH ที่เหมาะสมในการดูดซับ	44
4.2.3 ศึกษาอัตราการปั่นกววนที่เหมาะสม	48
4.2.4 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลในการดูดซับ	50
4.2.5 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ	52
4.2.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี	55
4.2.7 การคายซับ (desorption)	56

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี	63
ภาคผนวก ข ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	67
ภาคผนวก ค ตารางแสดงการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	71
ภาคผนวก ง ตารางแสดงการหาค่าไอโซเทอร์ม	84
ภาคผนวก จ กราฟแสดงการหาค่าไอโซเทอร์ม	90
ภาคผนวก ฉ ตารางแสดงค่า SPSS	96
ภาคผนวก ช การเตรียมสารละลาย	120
ภาคผนวก ซ การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์	121
ภาคผนวก ฌ การสร้างกราฟสารละลายมาตรฐาน	122

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	การตกตะกอนทางเคมีของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่ PH ต่างๆ	5
รูปที่ 2.2	การออสโมซิสย้อนกลับ	6
รูปที่ 2.3	การแลกเปลี่ยนไอออน	7
รูปที่ 2.4	การทำงานของระบบแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง	8
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของเซลล์โลส	14
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของเฮมิเซลล์โลส	16
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของลิกนิน	17
รูปที่ 2.8	ขุยมะพร้าวที่นำมาทำการทดลอง	18
รูปที่ 2.9	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir	21
รูปที่ 2.10	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich	23
รูปที่ 4.1	(ก) ลักษณะของขุยมะพร้าวแบบละเอียดก่อนนำไปทำการดูดซับ	40
	(ข) ลักษณะของขุยมะพร้าวแบบหยาบก่อนนำไปทำการดูดซับ	40
รูปที่ 4.2	(ก) โครงสร้างของขุยมะพร้าวแบบละเอียดก่อนการดูดซับเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (SEM)	41
	(ข) โครงสร้างของขุยมะพร้าวแบบหยาบก่อนการดูดซับเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (SEM)	41
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	42
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	43
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	44
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	45
รูปที่ 4.7	การตกตะกอนทางเคมีของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่ pH ต่างๆ	46
รูปที่ 4.8	การตกตะกอนทางเคมีของทองแดง ที่ pH ต่างๆ	46
รูปที่ 4.9	การตกตะกอนทางเคมีของสังกะสี ที่ pH ต่างๆ	47
รูปที่ 4.10	การตกตะกอนทางเคมีของนิกเกิล ที่ pH ต่างๆ	47

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับรอบการปั่นกววนในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	48
รูปที่ 4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับรอบการปั่นกววนในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	49
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี	50
รูปที่ 4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี	51
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับปริมาณตัวดูดซับ	52
รูปที่ 4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับปริมาณตัวดูดซับ	53
รูปที่ 4.17	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ	55
รูปที่ 4.18	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคายซับ นิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจากขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ	56
รูปที่ ก.1	องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	64
รูปที่ ก.2	กระบวนการเกิดอะตอมอิสระในเปลวไฟ	65
รูปที่ ก.3	เครื่องมือวิเคราะห์แบบ cold vapor atomic absorption ใช้หาปริมาณปรอท	66
รูปที่ จ.1	ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับนิกเกิล	90
รูปที่ จ.2	ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับนิกเกิล	90
รูปที่ จ.3	ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับนิกเกิล	91
รูปที่ จ.4	ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับนิกเกิล	91
รูปที่ จ.5	ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับทองแดง	92
รูปที่ จ.6	ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับทองแดง	92
รูปที่ จ.7	ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับทองแดง	93

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ จ.8 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับทองแดง	93
รูปที่ จ.9 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับสังกะสี	94
รูปที่ จ.10 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับสังกะสี	94
รูปที่ จ.11 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับสังกะสี	95
รูปที่ จ.12 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับสังกะสี	95
รูปที่ ฉ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	96
รูปที่ ฉ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	97
รูปที่ ฉ.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	98
รูปที่ ฉ.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	99
รูปที่ ฉ.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	100
รูปที่ ฉ.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	101
รูปที่ ฉ.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	102
รูปที่ ฉ.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	103
รูปที่ ฉ.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	104
รูปที่ ฉ.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	105

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่	ฉ.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	105
รูปที่	ฉ.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	106
รูปที่	ฉ.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	107
รูปที่	ฉ.13 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	108
รูปที่	ฉ.14 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	109
รูปที่	ฉ.15 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	110
รูปที่	ฉ.16 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	111
รูปที่	ฉ.17 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	112
รูปที่	ฉ.18 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาทิจ) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	113
รูปที่	ฉ.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	114
รูปที่	ฉ.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	115
รูปที่	ฉ.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	116
รูปที่	ฉ.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	117

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ จ.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/) กับร้อยละการดูดซับ สังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	118
รูปที่ จ.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/) กับร้อยละการดูดซับ สังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95	119



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 4.1	ค่า R^2 ไอโซเทอมแบบ Freundlich และ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	54
ตารางที่ 4.2	ค่า R^2 ไอโซเทอมแบบ Freundlich และ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	54
ตารางที่ ข.1	ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	68
ตารางที่ ค.1	การหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม ค่าเฉลี่ย เพอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	71
ตารางที่ ค.2	การหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม ค่าเฉลี่ย เพอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	71
ตารางที่ ค.3	การหาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม ค่าเฉลี่ย เพอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	72
ตารางที่ ค.4	การหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เพอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	72
ตารางที่ ค.5	การหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เพอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	73
ตารางที่ ค.6	การหาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เพอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	74
ตารางที่ ค.7	การหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับอัตราการปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เพอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่	ค.8	การหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับอัตราการปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	75
ตารางที่	ค.9	การหาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับอัตราการปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	76
ตารางที่	ค.10	ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับ แสดงปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับค่าสารละลายนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	77
ตารางที่	ค.11	ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับ แสดงปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับค่าสารละลายทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	78
ตารางที่	ค.12	ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับ แสดงปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับค่าสารละลายสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	79
ตารางที่	ค.13	ศึกษาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ ความเข้มข้น 50 ppm กับไอโซเทอม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	80
ตารางที่	ค.14	ศึกษาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ ความเข้มข้น 50 ppm กับไอโซเทอม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	81
ตารางที่	ค.15	ศึกษาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ ความเข้มข้น 50 ppm กับไอโซเทอม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	82
ตารางที่	ค.16	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก แสดงการหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือจากการดูดซับ โลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าว ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ ค.17	หาปริมาณโลหะหนักที่เหลือจากการคายซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีของขุยมะพร้าว ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าวเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว	83
ตารางที่ ง.1	การหาไอโซเทอมแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวกับนิกเกิล	84
ตารางที่ ง.2	การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวกับนิกเกิล	85
ตารางที่ ง.3	การหาไอโซเทอมแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวกับทองแดง	86
ตารางที่ ง.4	การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวกับทองแดง	87
ตารางที่ ง.5	การหาไอโซเทอมแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวกับสังกะสี	88
ตารางที่ ง.6	การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวกับสังกะสี	89
ตารางที่ ฉ.1	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	96
ตารางที่ ฉ.2	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	97
ตารางที่ ฉ.3	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา(นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	98
ตารางที่ ฉ.4	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	99
ตารางที่ ฉ.5	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	100
ตารางที่ ฉ.6	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	101
ตารางที่ ฉ.7	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	102
ตารางที่ ฉ.8	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่	ฉ.9 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของ ขุยมะพร้าวแบบละเอียด	104
ตารางที่	ฉ.10 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของ ขุยมะพร้าวแบบหยาบ	105
ตารางที่	ฉ.11 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของ ขุยมะพร้าวแบบละเอียด	106
ตารางที่	ฉ.12 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของ ขุยมะพร้าวแบบหยาบ	107
ตารางที่	ฉ.13 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละ การดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	108
ตารางที่	ฉ.14 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละ การดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	109
ตารางที่	ฉ.15 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละ การดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	110
ตารางที่	ฉ.16 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละ การดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	111
ตารางที่	ฉ.17 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละ การดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	112
ตารางที่	ฉ.18 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละ การดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	113
ตารางที่	ฉ.19 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละ การดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	114
ตารางที่	ฉ.20 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละ การดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	115
ตารางที่	ฉ.21 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละ การดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	116

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่	ฉ.22	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละ การดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	117
ตารางที่	ฉ.23	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละ การดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด	118
ตารางที่	ฉ.24	ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละ การดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ	119



นิยามศัพท์

ศัพท์ต่าง ๆ ที่ได้นำมาใช้ในโครงการพิเศษนี้

mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg	มิลลิกรัม
l/mg	ลิตรต่อมิลลิกรัม
g	กรัม
°C	องศาเซลเซียส
AAS	Atomic Absorption Spectrophotometer
N	นอร์มัล
M	โมลาร์
ppm	Part Per Million



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ทำให้มีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด โดยทั่วไปการปนเปื้อนของโลหะหนักมักเกิดจากการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงชุบ โรงงานผลิตรถยนต์ โรงงานแบตเตอรี่ เป็นต้น ซึ่งนิเกิล ทองแดง และสังกะสี เป็นโลหะหนักที่เป็นสารที่คงตัวและไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดินและดินตะกอนที่อยู่ในน้ำรวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมสูง ดังนั้นการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียจะช่วยลดการปนเปื้อนของโลหะได้ จึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ซึ่งวิธีในการบำบัดโลหะหนักมีอยู่หลายวิธีด้วยกันเช่น การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีกระบวนการบำบัดที่ซับซ้อนเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงจำเป็นต้องหาวิธีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง ค่าใช้จ่ายน้อย ต้นทุนต่ำ วิธีบำบัดที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งคือ การดูดซับ (adsorption) เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายต่ำและกระบวนการไม่ซับซ้อน

ขุยมะพร้าว เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก เป็นพืชทางเศรษฐกิจที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับ ซึ่งประกอบไปด้วยลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ในขุยมะพร้าวมีรูพรุนและเส้นใยเพื่อใช้ในการดูดซับและการแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายได้

ในโครงการพิเศษนี้จึงเลือกบำบัดนิเกิล ทองแดง และสังกะสี โดยการใช่วัสดุธรรมชาติคือขุยมะพร้าวเป็นตัวกลางในการดูดซับ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบในการดูดซับโลหะหนัก นิเกิล ทองแดง และสังกะสี นอกจากนี้ยังศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักได้แก่ นิเกิล ทองแดง และสังกะสี เพื่อให้กระบวนการบำบัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและสามารถพัฒนาให้ใช้ได้กับการดูดซับโลหะหนักอื่นๆ ในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำวัสดุที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยใช้ตัวกลางในการดูดซับคือ ขุยมะพร้าวแบบละเอียด และแบบหยาบ
3. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับ นิกเกิล ทองแดงและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวกลางในการดูดซับ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความสามารถในการดูดซับ นิกเกิล คอปเปอร์และสังกะสีโดยใช้ขุยมะพร้าวแบบละเอียด (20 mesh) และแบบหยาบ (10 mesh) เป็นตัวดูดซับ
2. ศึกษาปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับนิกเกิลคอปเปอร์และสังกะสี โดยกำหนดปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ระยะเวลาในการสัมผัส 20, 40 และ 60 นาที พีเอชในช่วง 4, 5, 6, 7, 8 อัตราการปั่นกววน 60, 90, 120 และ 150 รอบ/นาที ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย 50, 100, 150, 200 และ 250 ppm และศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ
3. ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับ นิกเกิล คอปเปอร์และสังกะสีด้วยขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์
4. วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
5. ศึกษาโครงสร้างของขุยมะพร้าว แบบละเอียดและแบบหยาบ โดยใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscopy (SEM)
6. ศึกษาการคายซับโลหะหนักจากขุยมะพร้าว

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางช่วยลดปริมาณของเสียจำพวกขุยมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ และนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดเป็น โยชน์สูงสุด
2. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจำพวกนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี
3. เป็นการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับศึกษาการดูดซับน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักชนิดอื่นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

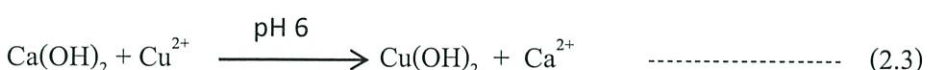
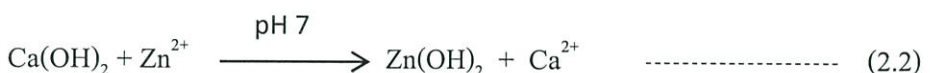
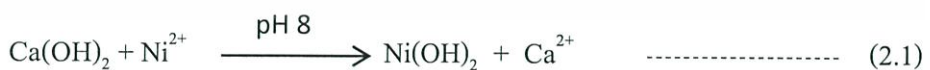
กระบวนการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียมีหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับก่อนบำบัด ความเหมาะสมได้แก่ คุณสมบัติน้ำเสีย คุณภาพน้ำที่ต้องการหลังบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย สามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้ (ชุตินา, 2543)

2.1.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน บำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด การทำให้เกิดตะกอน (precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ต่อเมื่อไม่สามารถแยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธีด้วยกันคือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนซัลไฟด์ (จตุพร และคณะ, 2545)

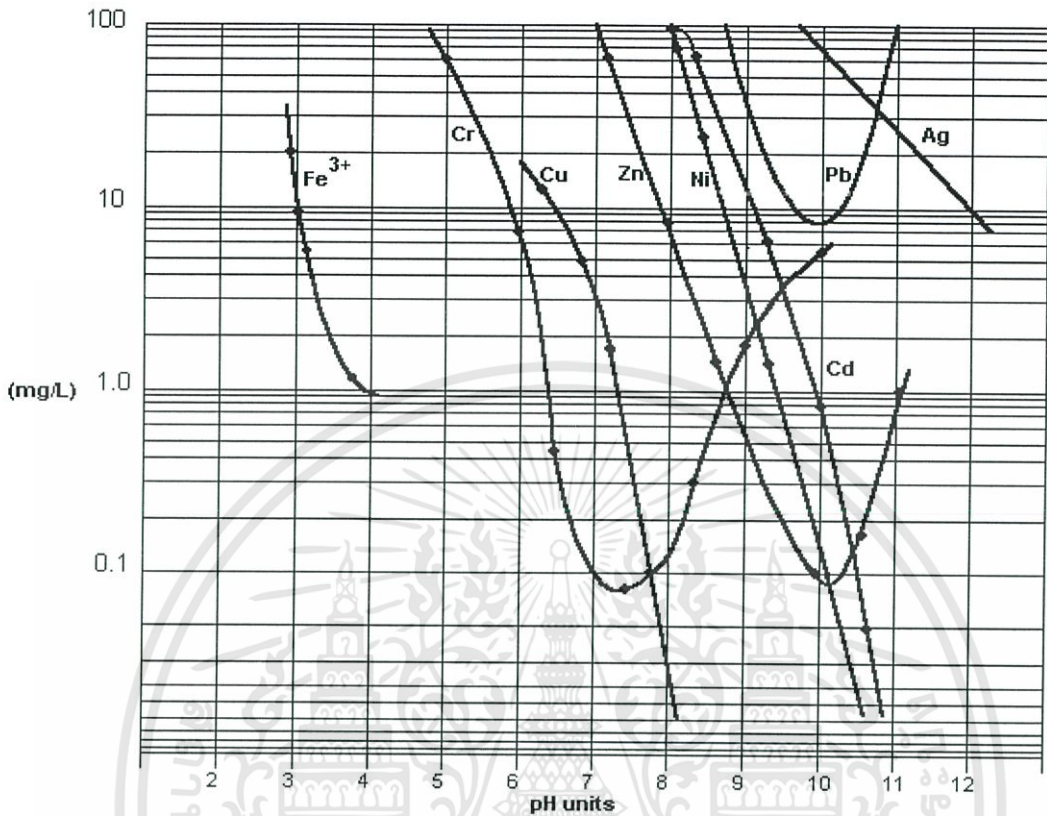
การตกตะกอนส่วนใหญ่จะใช้สารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น เป็นตัวตกตะกอนโลหะหนัก ทั้งนี้เนื่องจากโลหะหนักจากโลหะหนักส่วนใหญ่จะตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ในพีเอชที่เป็นเบส ในการตกตะกอนโลหะหนักแต่ละชนิด จะต้องคำนึงถึงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนของโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำเสีย

(ธนพล และคณะ, 2547) ดังสมการที่ 2.1-2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

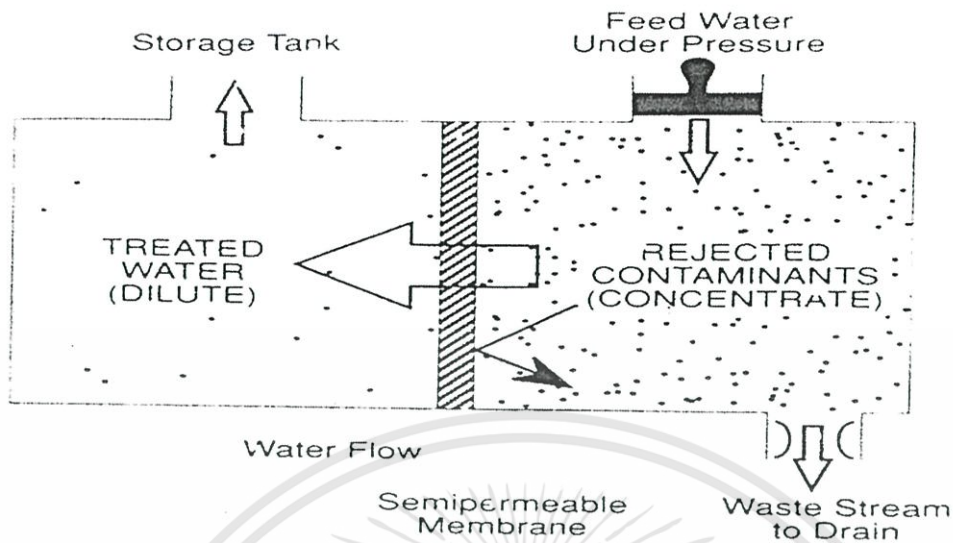
จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการตกตะกอนของทองแดง สังกะสีและนิกเกิลจะเริ่มตกตะกอนตั้งแต่ pH 6, 7 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 การตกตะกอนทางเคมีของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่ pH ต่างๆ
(Hoffland Environmental Inc, 2012)

2.1.2 การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis)

เป็นการแยกโลหะออกจากน้ำเสีย โดยบังคับให้เกิดการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิส โดยการให้ความดันไฮดรอลิก (Hydraulic pressure) แก่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้เกิดการออสโมซิสจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน แยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้นดังรูปที่ 2.2 (จตุพร และคณะ, 2545)



รูปที่ 2.2 การออสโมซิสย้อนกลับ (จตุพร และคณะ, 2545)

2.1.3 การระเหย (Evaporation)

เป็นวิธีการง่ายๆ ทำโดยระเหยน้ำออกทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีทั้งระเหยที่ความดันบรรยากาศ และการระเหยภายใต้สุญญากาศ ได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงๆ เท่านั้น เป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง (จตุพร และคณะ, 2545)

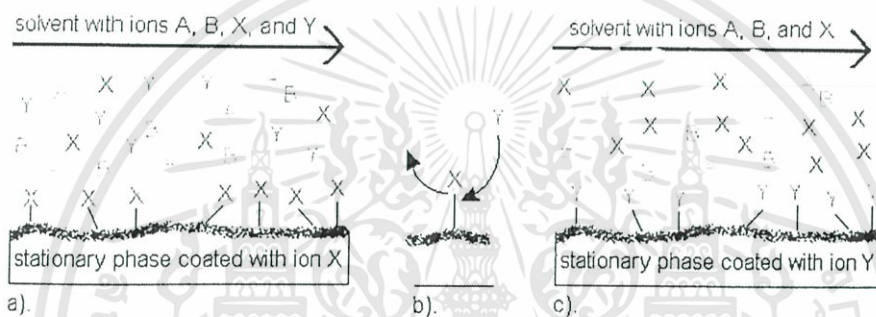
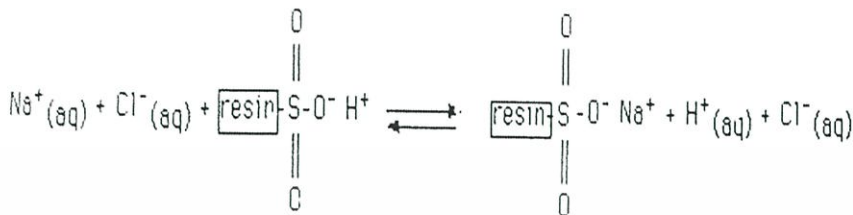
2.1.4 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic recovery)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูงแต่ไม่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก (จตุพร และคณะ, 2545)

2.1.5 การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)

วิธีนี้จะอาศัยอนุภาคที่ยึดจับไอออนของโลหะหนักเพื่อแลกเปลี่ยนไอออนที่จับอยู่บนผิวอนุภาค อนุภาคนี้มักเรียกว่าเรซิน ซึ่งมีทั้งชนิดแคทไอออน (Cation exchange resin) และแอนไอออน (Anion exchange resin) การใช้วิธีแลกเปลี่ยนไอออนนี้ในการกำจัดโลหะหนักจะใช้เรซินชนิดแคทไอออน โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปโซเดียมเรซิน หรือไฮโดรเจนเรซิน เป็นต้น เรซินที่ใช้เป็นพวก Insoluble organic acid ในรูปของซัลโฟนิค หรือคาร์บอกซิลิกแอซิด วิธีการนี้เหมาะ

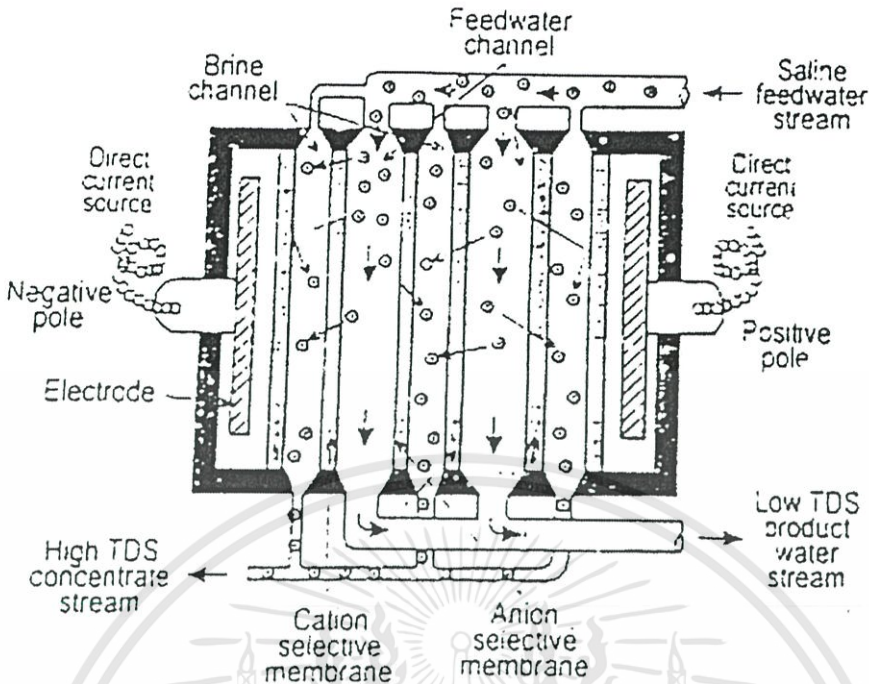
สำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย เนื่องจากเรซินมีความเฉพาะเจาะจง แต่จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่ด้วยจะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซินเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และจะต้องมีการล้างเรซินด้วยกรด เพื่อนำเรซินกลับมาใช้ใหม่ได้ (ชนพล และคณะ, 2547)



รูปที่ 2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (จตุพร และคณะ, 2545)

2.1.6 การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง(Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นวิธีการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion selective membranc) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีการนี้มีต้นทุนการก่อสร้างและดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดขนาดของไอออนที่ต้องการได้ (จตุพร และคณะ, 2545)



รูปที่ 2.4 การทำงานของระบบแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (จตุพร และคณะ, 2545)

2.1.7 ออกซิเดชัน - รีดักชัน (Oxidation - reduction) (ชนพล และคณะ, 2547)

เป็นวิธีการกำจัดที่มีการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันก่อน แล้วจึงนำไปกำจัดด้วยวิธีอื่น เช่น วิธีการทำให้ตกตะกอน วิธีการนี้เปลี่ยนรูปของโลหะหนักที่อยู่ในรูปที่เป็นพิษ หรือรูปที่ตกตะกอนได้ยากให้กลายเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ง่ายขึ้น เช่น ออกซิเดชันเหล็กเฟอร์รัสไปเป็นเหล็กเฟอร์ริก เพื่อลดความเป็นพิษลง และให้เกิดการตกตะกอนได้ง่ายขึ้น หรือรีดักชันเฮกซะโครเมียม (Cr^{6+}) ไปเป็นไตรโครเมียม (Cr^{3+}) เพื่อลดความเป็นพิษให้น้อยลง สารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ อากาศ โอโซน โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โซเดียมไฮโปคลอไรด์ เป็นต้น และสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น

วิธีการออกซิเดชัน - รีดักชัน และการทำให้ตกตะกอนเป็นวิธีที่จะใช้ควบคู่กันได้ในกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยทั้ง 2 วิธีนี้ เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกแต่จะมีข้อเสียในการตกตะกอนที่จะต้องคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสม โดยเฉพาะพีเอช การเลือกใช้สารเคมีที่ใช้ในการออกซิเดชัน - รีดักชัน จำเป็นอย่างยิ่งในแง่ความเหมาะสมและค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหลืออยู่ในน้ำเสียด้วยว่าจะมีปัญหาในการกำจัดต่อไปหรือไม่

2.1.8 การกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกผลึก (ชนพล และคณะ, 2547)

โลหะหนักที่พบในน้ำเสียและเป็นปัญหามักอยู่ในรูปของสารละลาย ทำให้ไม่สามารถบำบัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธีตกตะกอนหรือกรองเพียงลำพัง การกำจัดโลหะหนักจำเป็นต้องให้เกิดการตกผลึกของแข็ง (Precipitation) เสียก่อน จากนั้นจึงทำให้ผลึกของแข็ง (มักเป็นคอลลอยด์) รวมกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนและวิธีกรอง ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าการกำจัดโลหะหนักต้องใช้วิธีตกผลึก ร่วมกับวิธี โคแอกกูเลชันและตามด้วยวิธีตกตะกอนและวิธีกรอง

โลหะหนัก เช่น สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม เป็นต้น ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียมักทำให้ตกผลึกได้โดยการเพิ่มพีเอช ดังนั้นการเติมปูนขาวให้กับน้ำเสียนั้นมีพีเอชขึ้นถึงระดับที่เหมาะสมจะทำให้โลหะหนักตกผลึกได้ จากนั้นจึงทำให้ผลึกของแข็งรวมตัวกันกลายเป็นฟล็อกด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน แล้วจึงแยกฟล็อกออกจากน้ำด้วยถังตกตะกอน

2.1.9 การดูดซับ (Adsorption) (จตุพร และคณะ, 2545)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับ โมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับมักจะเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) กระบวนการนี้สามารถนำมาใช้กำจัดโลหะหนักได้จนเหลือถึงระดับที่ยอมรับให้มีได้

ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเอาวัสดุอื่นๆ นอกเหนือจากถ่านกัมมันต์มาใช้ในการดูดซับโลหะหนัก โดยตัวดูดซับจะเน้นที่วัสดุมีราคาถูกหรือวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมเช่น ฟางข้าว เปลือกไข่และเปลือกผลไม้เป็นต้น เพราะนอกจากจะมีราคาถูกแล้วยังช่วยในการหมุนเวียนของเสียกลับมาใช้ประโยชน์

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจในการนำวิธีการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ขุยมะพร้าวมาทำการศึกษา

2.1.10 การคายซับ (Desorption)

เป็นการคายโลหะออกจากตัวดูดซับชีวภาพด้วยการใช้ตัวชะ (Eluent) ทำให้สามารถนำมลชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ได้ในวงจรของการดูดซับและการคายโลหะหนัก (ลลิตา, 2554)

2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

เป็นวิธีการหนึ่งที่มีนิยมนำใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้น โมเลกุล ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือกรองแบบธรรมดา การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ (จุดพร และคณะ, 2545)

2.2.1 หลักการ (ชนพล และคณะ, 2547)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับให้ได้นักนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้จับและติดที่ผิวของมันซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Absorbent)

การดูดซับมีความสามารถในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุมมีประสิทธิภาพดี และระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพ คือต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ

การดูดซับที่สำคัญมี 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในของเหลวเข้าใกล้ และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงวันเดอร์วาล์ว ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้น ซึ่งแต่ละชั้นของโมเลกุลจะอยู่บนชั้น โมเลกุลของสารก่อนหน้านี้ จำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงมีค่าน้อย การหลุดออกของสารดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (Irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับเองได้ (Reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล

2.2.2 กลไกของกระบวนการดูดซับ (จตุพร และคณะ, 2545)

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่แก๊สหรือสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า Adsorbent การดูดซับนี้จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) แก๊ส (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว แก๊ส-ของเหลว แก๊ส-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid – Solid Interface) ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.2.3 กลไกการดูดซับ (ธนพล และคณะ, 2547)

สำหรับกลไกการดูดซับหรือการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ไปยังตัวดูดซับ (Adsorbent) นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

- 1) Bulk Transport เป็นขั้นแรกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จะเคลื่อนที่จาก bulk solution ไปยังผิวหน้าของฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ
- 2) External Diffusion or Film Diffusion การที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ข้ามผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวหน้าของตัวถูกดูดซับนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Interparticle Diffusion or Pore Diffusion การที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

4) Adsorption เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่โมเลกุลของสารจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้น

2.2.4 ประเภทของการดูดซับแบ่งได้ 2 ประเภท (จตุพร และคณะ, 2545)

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

2.2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่ายสารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านั้น โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.2.4.2 การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมลการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer)

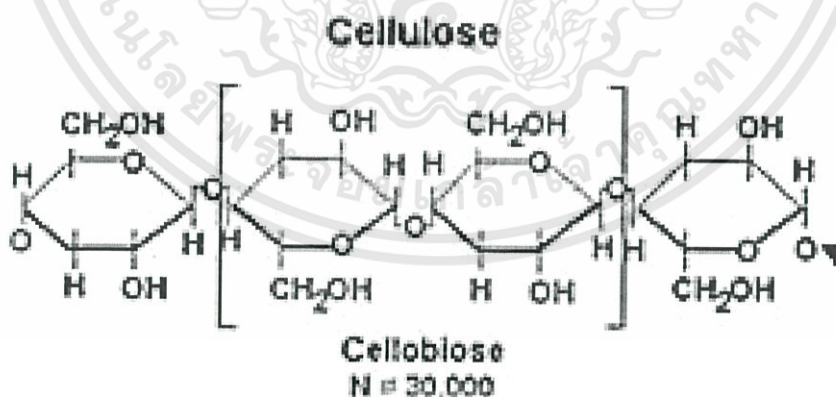
2.2.5 ประเภทของตัวดูดซับ แบ่งได้ 3 ประเภท (จตุพร และคณะ, 2545)

2.2.5.1 สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกาแกมมันต์ เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวดูด

เซลลูโลสเมื่อย่อยจะแตกตัวออกให้น้ำตาล เซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ เพราะมีโมเลกุลใหญ่มาก ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,250 - 12,500 โมเลกุลพบมากที่สุดในพืช เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ในพืชผักผลไม้ทำหน้าที่ เป็นโครงสร้างที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อของ พืช มีมากตามใบผัก ก้านผัก และเปลือกนอกของผลไม้ เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วร่างกายไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่การรับประทานเซลลูโลสเป็นประโยชน์ คือ ช่วยในการ ขับถ่ายได้โดยทำให้เป็นกากอาหารในลำไส้ทำหน้าที่ กระตุ้นให้ลำไส้ใหญ่เกิดการขับถ่ายกากอาหารที่ไม่ย่อย และป้องกันท้องผูก เซลลูโลสเมื่อถูกย่อยจะแตกตัวออก ให้น้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่มีรสหวาน มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีสูตรโครงสร้างซับซ้อน มีสูตร $(C_6H_{10}O_5)_n$ ประกอบด้วยโมเลกุลของโมโนแซ็กคาไรด์ จำนวนมากมาย หลายพัน โมเลกุล

ชนิดของเซลลูโลสแบ่งตามความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น 3 ชนิด คือ (จตุพร และคณะ, 2545)

1. แอลฟา - เซลลูโลส (α -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5%
2. เบต้า - เซลลูโลส (β -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5% ที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสารละลายที่มีสภาพที่เป็นกรด
3. แกมมา - เซลลูโลส (γ -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5% และสารละลายกรด แต่สามารถตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์



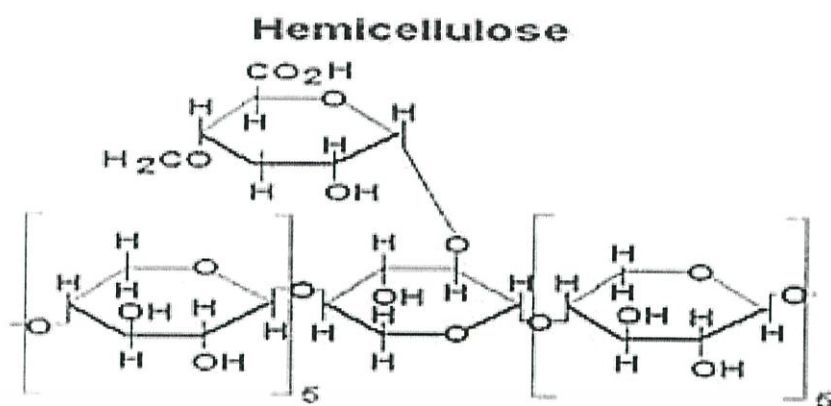
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส (ปรีชา, 2528)

2.2.6.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) (จตุพร และคณะ, 2545)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำและมีปริมาณการเกิดเป็นพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) ประมาณ 200 โดยมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลสหลายชนิด กล่าวคือ มีไซโลสมากที่สุดถึง 85 – 90% และส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 และ 6 แมนนูโรนิก (mannuronic acid) และกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) เป็นองค์ประกอบ เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรดหรือเบสเจือจางหรือเอนไซม์เพราะเฮมิเซลลูโลสไม่มีรูปร่างแน่นอน ไม่เป็นเส้นตรง และมีลำดับของหน่วยย่อยน้ำตาลที่เรียงตัวแบบสุ่ม จึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไซโลสถูกทำลายด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้ง่าย

โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสพืชประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้ง โดยอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและลิกนินทำให้เกิดเป็นผนังเซลล์พืชที่แข็งแรง เฮมิเซลลูโลสมีทั้งโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรงและโซ่กิ่งของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ได้แก่ ไซโลสและอะราบิโนส และน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ กลูโคส แมนโนส และกาแลคโตสองค์ประกอบส่วนใหญ่ในเฮมิเซลลูโลสเป็นไซโลสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้าและพบในไม้เนื้อแข็งมากกว่าไม้เนื้ออ่อน ทั้งนี้ไม่ค่อยพบเฮมิเซลลูโลสที่มีไซโลสเพียงชนิดเดียวในธรรมชาติ จึงมักพบอยู่รวมกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ และมีส่วนของลิกนินจับตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสจะมีความเป็นกรด เนื่องจากมีหมู่ 4-เมทิล-แอลฟา-ดี-กลูโคส (4-methyl- α -D-glucose) จับอยู่กับออกซิเจนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งการมีหมู่แทนที่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสออกด้วยสารละลายเบส แต่ขั้นตอนของการสกัดเฮมิเซลลูโลสออกนั้นอาจต้องมีการกำจัดลิกนิน (delignification) ร่วมด้วย

สมบัติของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะพบเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ชั้นนอกสุดและพบส่วนนี้อยู่ในผนังเซลล์ชั้นที่ 2 โดยจะถูกย่อยสลายและสกัดออกจากผนังเซลล์พืชได้ในภาวะที่ไม่รุนแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลมีโซ่กิ่งเป็นจำนวนมากคล้ายกับโครงสร้างของเพกติน โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะชอบน้ำทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นเจลได้ขณะที่เมื่อเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์จะไม่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำ แต่สามารถละลายได้ในเบส



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (ปรีชา, 2528)

2.2.6.3 ลิกนิน (Lignin) (จตุพร และคณะ, 2545)

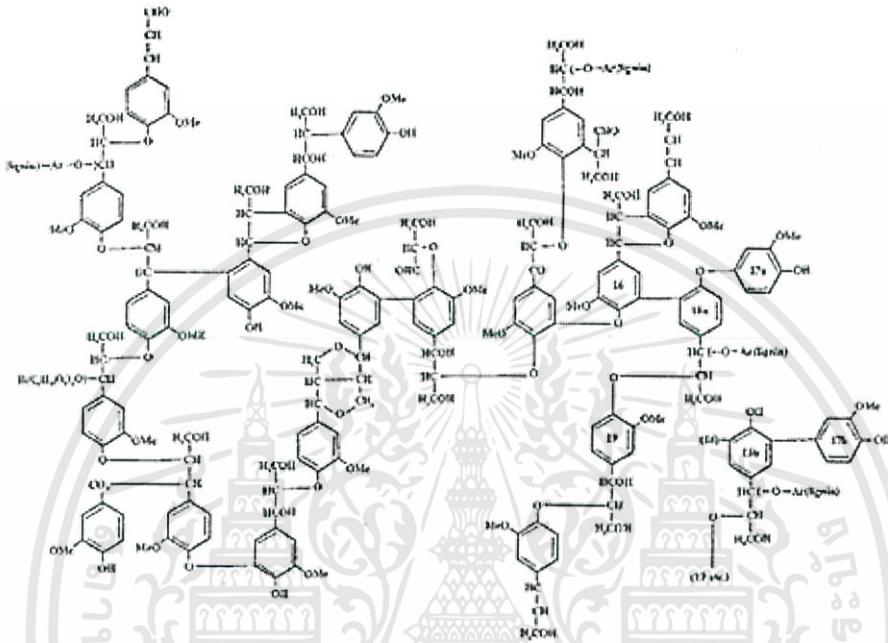
ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่พบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกับ เซลลูโลสและพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนที่ต่อกันแบบ สุ่มเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยภายใน โครงสร้างจะเชื่อมกันด้วยพันธะอีเทอร์หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุล ทำให้ลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิด อื่นๆ ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารเคมีในการแยกลิกนินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์

โครงสร้างของลิกนินมีโครงสร้างที่เกิดจากหน่วยที่เหมือนกันซ้ำๆ ประกอบเป็น โมเลกุลที่ใหญ่มีการเชื่อมต่อกันของหน่วยย่อยคือ ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenyl propanoid) ที่มีหมู่ เมธิลอยู่บน โมเลกุลลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน หญ้า และไม้เนื้อแข็งมีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวก เมทอกซี (methoxy) และการเกิดพันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน

สมบัติของลิกนินลิกนินมีสมบัติที่สำคัญคือ การละลายในตัวทำละลาย โดยปกติ ลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถสกัดลิกนินได้ด้วยตัวทำละลาย อินทรีย์ที่มีขั้วสูงขณะที่บางส่วนของกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน (alkaline lignin) สามารถละลายได้ ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน (dioxane) ไพริดีน (pyridine) และสารละลายเบสเจือจางได้ นอกจากนี้ เมื่อมีการเติมหมู่เมธิล (methylation) และหมู่อะซิetyl (acetylation) แทนที่ตำแหน่งต่างๆ บนวงแหวนเบนซีน ในโครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 280 นาโนเมตร ทั้งนี้ การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็เป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอก ซิลให้แก่โครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงได้ด้วยการที่ลิกนินอยู่ร่วมกับ เซลลูโลสในเนื้อไม้ ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงได้ตามธรรมชาติ รวมทั้งยังทำให้ จุลินทรีย์และเอนไซม์ไม่สามารถทำลายโครงสร้างพืชได้ง่าย โดยโครงสร้างที่ลิกนินอยู่ร่วมกับ เซลลูโลสจะมีพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเพื่อให้การใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์จากวัสดุกลุ่มลิกโนเซลลูโลสมีมากขึ้น จึงต้องใช้ในการปรับสภาพวัสดุเหล่านี้ก่อน และ ป้องกันผลเสียที่เกิดจากลิกนิน รวมทั้งให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการ ใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของลิกนิน (ปรีชา, 2528)

2.2.7 พืชที่นำมาใช้ในการศึกษา

2.2.7.1 ขุยมะพร้าว

ขุยมะพร้าว คือ เปลือกมะพร้าวที่ป่นเอาใยออก หรือ ปั่นให้ใยละเอียด เป็นขุยๆ ละเอียดประมาณเม็ดทราย แห้งสนิท (ไม่ใช่เปลือกสับ) เป็นเศษเหลือของโรงงานทำเส้นใยมะพร้าว ซึ่งได้ทุบกากมะพร้าวเพื่อนำเส้นใยไปทำเบาะนั่ง เศษเหลือเหล่านี้เป็นผง ๆ เป็นเศษวัสดุจากต้นมะพร้าว (เศษวัสดุธรรมชาติ)

คุณสมบัติ pH 6 – 7 การอุ้มน้ำดีมาก จนอาจมากเกินไปจนมีปัญหาเกี่ยวกับการระบายอากาศ การแลกเปลี่ยนประจุมีค่าสูง เมื่อขุยมะพร้าวผ่านขบวนการสลายตัว มีความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ ความพรุนสูง ความคงทนของโครงสร้าง สามารถสลายตัวได้และราคาถูก

ข้อเสียอาจมีปัญหากับการระบายอากาศที่รากพืชมีการสลายตัวหลังจากนำมาใช้และเกิดการอัดตัวแน่น ยกในการกำจัดโรค ปัจจุบันประเทศศรีลังกาได้มีการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขุยมะพร้าวอัดเป็นแท่งวัสดุปลูก ออกขายไปต่างประเทศแล้วเพื่อใช้ปลูกมะเขือเทศ แดงกวาง ฯลฯ แต่การนำขุยมะพร้าวมาใช้ต้องระวังปริมาณเกลือที่อาจสะสมอยู่ โดยเฉพาะขุยมะพร้าวที่ได้จากแหล่งปลูกมะพร้าวใกล้ทะเล



รูปที่ 2.8 ขุยมะพร้าวที่นำมาทำการทดลอง

2.2.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.2.8.1 สมบัติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลของตัวดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็กก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่ม (จตุพร และคณะ, 2545)

2.2.8.2 สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ (จตุพร และคณะ, 2545)

ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักของโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ดูดซับเพิ่มความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น และโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นแบบกิ่ง (Branched chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง (Straight chain)

2.2.8.3 ขนาดและพื้นที่ผิวของการดูดซับ (Size and Surface Area)

มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ และพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) อัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางในการดูดซับเมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน แต่สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุน อัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่สารภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่าการขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ (ชนพล และคณะ, 2547)

2.2.8.4 ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Adsorption)

สิ่งที่สำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมอัตราการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ (ชนพล และคณะ, 2547)

2.2.8.5 อัตราการเร่งปั่นกวน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่การปั่นกวนของระบบ ถ้าน้ำมีการปั่นกวนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบด้วยสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีการปั่นกวนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของสารดูดซับ (ชนพล และคณะ, 2547)

2.2.8.6 เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสียระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปประยุกต์จริง (ชนพล และคณะ, 2547)

2.2.8.7 ค่าความเป็นกรดต่าง(pH)

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออนบนพื้นที่ผิวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น (จตุพร และคณะ, 2545)

2.2.8.8 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกแยกออกจากน้ำไปเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับ สารที่ละลายหรือแตกตัวเป็นไอออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงทำให้ยากต่อการดูดซับส่วนสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย จะสามารถติดบนผิวตัวดูดซับได้ดี(วารินทร์ และสุรัสวดี, 2545)

2.2.8.9 ปริมาณความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับหรือสารละลาย

โดยทั่วไปแล้วอัตราเร็วของการดูดซับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย คือ อัตราการดูดซับเพิ่มขึ้น และอัตราการดูดซับจะลดลงเมื่อความเข้มข้นลดลง (วารินทร์ และสุรัสวดี, 2545)

2.2.8.10 อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้นแต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง (จตุพร และคณะ, 2545)

2.2.5 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ (จตุพร และคณะ, 2545)

ความสามารถในการดูดซับเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ ณ จุดสมดุลเพื่อคัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์

2.2.5.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

เออร์วิง แลงเมียร์ ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายสุดโดยมีสมมติฐานคือ

- 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว(monolayer adsorption)
- 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน
- 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

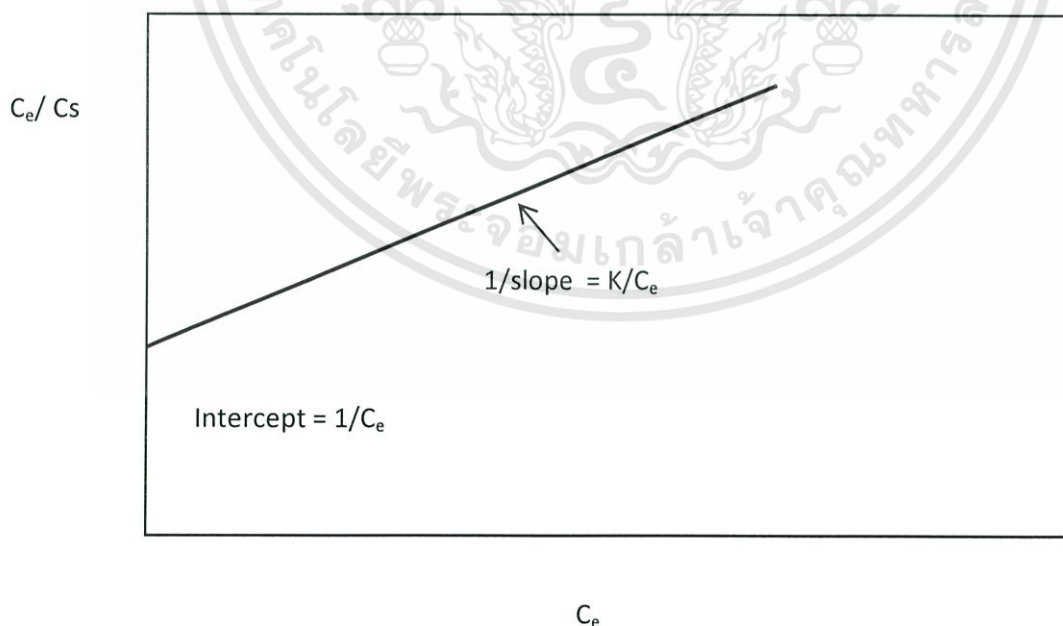
จากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการที่ 2.4

$$C_s = \frac{X}{m} \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

$$C_s = \frac{abC_e}{1+bC_e} \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

$$\text{หรือ} \quad C_e/C_s = (1/ab) + (C_e/a) \quad \text{-----} \quad (2.6)$$

- เมื่อ
- C_s = จำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักที่ความเข้มข้น C
 - C_e = จำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียว (monolayer)
 - x = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)
 - m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ใช้ (mg)
 - a = ค่าคงที่
 - b = ค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัว, (l/mg)



รูปที่ 2.9 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.2 ไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิค (Freundlich isotherm)

การดูดซับแบบ Freundlich นี้เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วย พันธะอ่อนๆ แสดงดังสมการที่ 2.6

$$q_c = \frac{X}{M} = KC^{1/n} \text{ ----- (2.6)}$$

- เมื่อ q_c = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg/g)
- X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)
- M = ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ใช้ (mg)
- C = ความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกดูดซับ (mg/l, M)
- K = ค่าคงที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
- $1/n$ = ค่าคงที่แสดงถึงการขึ้นตรงกับความสัมพันธ์ของสารละลาย

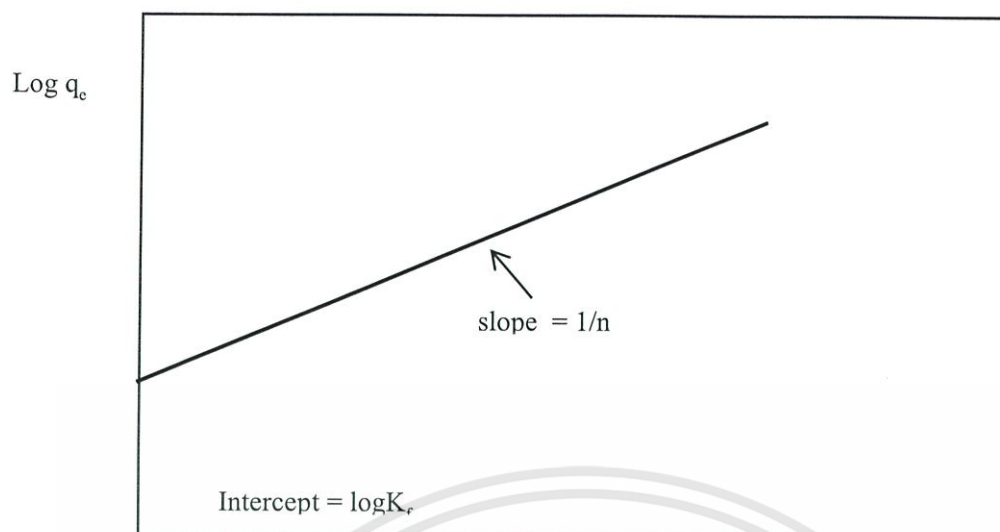
สมการ Freundlich เมื่อเขียนกราฟค่า X/M และ C จากการทดลองลงบนกราฟ Log – Log จะได้ดังสมการ 2.7

$$\text{Log } q_c = \text{Log } [X/M] = \text{log}K + 1/n \text{log}C \text{ ----- (2.7)}$$

สามารถหาค่า K และ $1/n$ ได้จากกราฟโดยที่

- $1/n$ = ความชันของกราฟ
- K = ค่า X/M ที่ค่า $C = 1$ (รูปที่ 2.7)

หากค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกค่าความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ สูงแสดงว่าความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงข้ามกันเมื่อความเข้มข้นสูงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก



รูปที่ 2.10 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich

การทำไอโซเทอร์มแบบการดูดซับนั้น กระทำได้โดยการนำตัวดูดซับที่บดละเอียดปริมาณที่แตกต่างกันมาเขย่ากับน้ำที่มีสารปนเปื้อนจนถึงจุดสมดุลของการดูดซับ จากนั้นแยกน้ำใสออกมาวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลือ ผลการทดสอบที่ได้นำไปใช้คัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมในการทำงานนั้นๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ Freundlich isotherm ในการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

2.3 โลหะหนัก (ชุตินา, 2543)

โลหะหนัก คือ กลุ่มธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 23-92 อยู่ในคาบ 5-7 ในตารางธาตุ ที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 ขึ้นไป และส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม Transition metals ได้แก่ ทองแดง เงิน ทองคำ ทองคำขาว สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก โครเมียม ทังสแตน แคลเดียม โปรท บิสมัท พลวง ไททาเนียม แทนทาลัม โคบอลต์ ยูเรเนียม นิกเกิล แมงกานีส โมลิบดีนัม และเบอรี่ยมเนียมโดยทั่วไปแล้วจะมีสภาพเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีแผ่เป็นแผ่นบางๆได้ ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบ และเสถียรกว่าโลหะอิสระ

ปกติโลหะหนักเมื่ออยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์มีความเป็นพิษเล็กน้อยแต่ถ้าอยู่ในรูปสารประกอบบางตัวจะเป็นอันตรายมาก โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดินดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ โลหะหนักเป็นสารพิษต่อสิ่งมีชีวิตเนื่องจากร่างกายไม่สามารถเผาผลาญได้สะสมตัวในเนื้อเยื่ออ่อนได้ โลหะหนักจะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านทางอาหาร, น้ำ, อากาศ หรือผ่านทาง การดูดซับทางผิวหนังจากการสัมผัสในการทำเกษตรกรรม กระบวนการผลิตทางเภสัชกรรม กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม หรือทำเลที่ตั้งที่อยู่อาศัย (สำนักงานคลังจังหวัดภูเก็ต, 2556)

จะเห็นได้ว่าปริมาณการปนเปื้อนของโลหะในอาหารที่จัดเป็นโลหะหนักอนุญาตให้ปนเปื้อนในอาหารได้ในปริมาณที่น้อยกว่าโลหะทั่วไปเมื่อเทียบกับน้ำหนัก 1 กิโลกรัมเท่ากัน ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะความเป็นพิษจากโลหะหนักเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะรุนแรงกว่าโลหะทั่วไป แบ่งความรุนแรงต่อกลไกระดับเซลล์ได้ 5 แบบดังนี้

1. ทำให้เซลล์ตาย
2. เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
3. เป็นตัวการทำให้เกิดเซลล์มะเร็ง
4. ทำให้เกิดความผิดปกติทางรหัสพันธุกรรม
5. ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครโมโซมทางพันธุกรรม

2.3.1 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะหนักที่อยู่ในหมู่ 8B ในตารางธาตุ มีเลขอะตอมเท่ากับ 28 มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 53.71 และมีเลขออกซิเดชันหลายค่าคือ 0, I, II, III และ IV นิกเกิลมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3d^8 4s^2$ เนื่องจากรูปแบบของการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกแบบ $3d^8$ เป็นรูปแบบที่ความเสถียรมากที่สุด ดังนั้นนิกเกิลที่พบทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะอยู่ในรูปของนิกเกิลที่ประจุ +2 เป็นส่วนใหญ่

ไอออนนิกเกิลประจุ +2 เป็นออกตะฮีดรัล โดยเชื่อมต่ออยู่กับโมเลกุลของน้ำ 6 โมเลกุล $Ni(H_2O)_6^{2+}$ ซึ่งเป็นลักษณะที่คล้ายกับไอออนของธาตุอื่นๆ ในทรานซิชันที่ 1 ตามตารางธาตุ (V, Cr, Mn, Fe, Co) (วารสาร และ สุรัสวดี, 2545)

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความมันวาวสีขาวยเงินอยู่กลุ่มเดียวกับเหล็กมีความแข็ง แต่ตีเป็นแผ่นได้ในธรรมชาติจะทำปฏิกิริยาเคมีกับกำมะถันเกิดเป็นแร่มิลเลอร์ไรต์ (millerite) ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับสารหนู (arsenic) จะเกิดเป็นแร่นิกกอลไลต์ (niccolite) แต่ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับทั้งสารหนูและกำมะถันจะเป็นก้อนนิกเกิลกลานซ์ (nickel glance) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2556)

นิกเกิลส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยนำผสมโลหะอื่นๆ เป็นโลหะอัลลอยด์ ส่วนนิกเกิลบริสุทธิ์จะใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผสมน้ำมันเบนซิน ใช้ในงานชุบโลหะ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ใช้ทำสแตนเลสสตีลและอัลลอยด์กันสนิมชนิดต่างๆ ใช้ทำเหรียญกษาปณ์เคลือบโลหะ (electroplating) เพื่อป้องกันสนิม (วารสาร และ สุรัสวดี, 2545)

สำหรับความเป็นพิษของนิกเกิลจะเกิดเนื่องจากฝุ่นของนิกเกิลคาร์บอนิลซึ่งเป็นสารประกอบในการทำนิกเกิลบริสุทธิ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ นิกเกิลเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจมากที่สุด และสามารถเข้าสู่ร่างกายทางกิน และทางผิวหนังได้บ้าง การเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจโดยสูดเอา dust (insoluble nickel compound), aerosols (soluble nickel), gas (nickel carbonyl) อัตราการดูดซึมขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสะสมที่ปอดและต่อมน้ำเหลืองเป็นส่วนใหญ่และกระจายไปอวัยวะอื่นผ่านกระแสเลือด การขับออกจากร่างกายขับออกทางปัสสาวะ โดยค่าครึ่งชีวิตของนิกเกิลในซีรัมประมาณ 11 ชั่วโมง

การแพร่กระจายของนิกเกิลในน้ำจะทำให้เกิดอาการผื่นคันที่ผิวหนังจะมีอาการคลื่นไส้อาเจียน ไอแสบๆ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย สั่น และมีเหงื่อออกมาก และอาจมีอาการกระวนกระวาย นอนไม่หลับ แน่นหน้าอก ไอ ปวดท้อง และตาพร่ามัวและอาจมีผลต่อหัวใจคือ หัวใจเต้นเร็วขึ้นหรือช้าลงก็ได้ หรือเต้นผิดปกติหวัหระ อาการทางระบบประสาท ได้แก่อาการ ชัก ระยะเวลาอาจมีอาการอ่อนเพลียได้นาน 3-6 เดือนหลังสัมผัส การสัมผัสฝุ่นนิกเกิล (nickel dust) เป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองเยื่อจมูก และเกิดผื่นงมูกทะเล ในบางรายอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียการรับกลืน การสัมผัสแบบเรื้อรังเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งในโพรงจมูก ไชน์ส และปอดได้ องค์การ IARC กำหนดให้สารประกอบนิกเกิล (nickel compound) เป็นสารก่อมะเร็งสำหรับมนุษย์ (สิริวิชัย, 2555)

กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดคุณลักษณะได้กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีค่าความเข้มข้นของนิกเกิลไม่มากกว่า 1.0 มก./ล. (วารภรณ์ และสุรัสวดี, 2545)

2.3.2 ทองแดง (วารภรณ์ และสุรัสวดี, 2545)

ทองแดงเป็นหนึ่งในโลหะที่ถูกพบทั้งในรูปอิสระและในรูปสารประกอบของซัลไฟด์ (Sulfide) ออกไซด์ (Oxide) และคาร์บอเนต (Carbonate) ดินแร่พื้นฐานของทองแดงคือ ซาโคไฟไรต์ (Chalcopyrite) CuFeS_2 ซาโคไซต์ (Chalcocite), Cu_2S และบอร์ไนต์ (Bornite), Cu_5FeS_4

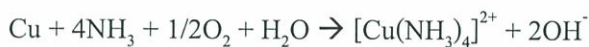
ทองแดงเป็นธาตุทางเคมี มีสัญลักษณ์ Cu มีเลขอะตอม 29 มีน้ำหนักอะตอม 63.546 ในตารางธาตุทองแดงจะอยู่ระหว่างธาตุนิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชัน แถวที่หนึ่งและมีธาตุอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เรียกว่ากลุ่มโลหะ Coinage คือธาตุเงิน และทอง ค่า Electronic Configuration ของทองแดงคือ $[1s^2 2s^2 2p^3 3s^2] 3d^{10} 4s^1$ หรือ [Argon] $3d^{10} 4s^1$ อิเล็กตรอนใน 4s ทำให้ทองแดงมีสมบัติทางเคมีเหมือนธาตุโพแทสเซียม (K) ที่มี Electronic Configuration เป็น [Argon] $4s^1$ อย่างไรก็ตามทองแดงมีรูปทรงที่ต่างกับโพแทสเซียม ทองแดงมี Ionization Potential ลำดับที่หนึ่งสูงกว่าโพแทสเซียมแต่มีค่า Ionization Potential ลำดับที่สองและสามต่ำกว่าโพแทสเซียม

ตามปกติทองแดงจะไม่ทำปฏิกิริยา ไม่ละลายใน Nonoxidizing Acid เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ค่า Oxidation Potential ของปฏิกิริยา คือ -0.34V ที่ 25 องศาเซลเซียส ทองแดงละลายใน Oxidizing Acid เช่น กรดไนตริก (HNO_3) หรือในตัวทำละลายเช่น ไทโอยูเรีย (Thiourea), $\text{C}(\text{NH}_2)_2$ ได้สารละลายที่เสถียรคือ Cu^{1+} ไอออนดังสมการ



Cu^{2+} จะเกิดขึ้นเมื่อมีแก๊สออกซิเจน (O_2) และตัวทำละลายเช่น แอมโมเนีย (NH_3)

ดังสมการ



ไอออนของทองแดงที่พบบ่อยๆมี 2 รูป คือ Cu^{1+} และ Cu^{2+}

Cu^{1+} ไอออนมี Electronic Configuration เป็น [Argon] $3d^{10}$ ปกติแล้วจะไม่มีสีเพราะมีอิเล็กตรอนอยู่เต็มใน d-shell การที่มีสีปรากฏในสารประกอบของ Cu^{1+} เนื่องจากแสงวิสิเบิล ทำให้อิเล็กตรอนถูกตรอนถูกกระตุ้น จาก $\text{Cu}^{1+} d$ Orbital ไปสู่ Orbital ที่ว่างของลิแกนด์หรือเกิดจากสีในตัวของลิแกนด์เอง สารประกอบของ Cu^{1+} ประกอบด้วยโทเลกุลหรือไอออน 2 หรือมากกว่า 2

จำนวน ลิแกนด์ Coordination Number ส่วนมากจะเท่ากับ 4 Coordination Number 2 และ 3 พบน้อยขณะที่ Coordination Number 5 พบยากมาก และ Coordination Number 6 ไม่เคยพบเลย

Cu^{2+} ไอออนมีอิเล็กตรอนใน d-shell ไม่เต็มทำให้สารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} มีสี และแสดงสมบัติแม่เหล็กเนื่องจากอิเล็กตรอนที่ไม่เข้าคู่ สมบัติแม่เหล็กนี้ทำให้โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} บิดเบี้ยวอย่างเห็นได้ชัด เกือบของ Cu^{2+} ละลายได้ดีในน้ำ และในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว ชาติ เช่น เมทานอล และ อะซิโตนไไตรล์

ทองแดงเป็นโลหะที่มีประโยชน์มากที่สุดและใช้มากที่สุดโลหะหนึ่ง (รองจากเหล็ก) ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ใช้ในการผลิตหม้อต้มน้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวด กัดน้ำร้อน ฯลฯ ใช้เคลือบผิวของโลหะเป็นต้น

ความเป็นพิษของทองแดง ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย (trace element) เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 mg/วัน และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 100 – 150 mg ซึ่งทองแดงจำนวนนี้ มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก โลหิตของเราก็มีทองแดงอยู่ด้วย เป็นที่ทราบกันว่าการสร้างฮีโมโกลบินต้องอาศัยทองแดง ถึงแม้ฮีโมโกลบินจะไม่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้การสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดต้องอาศัยทองแดงด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเราต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงก็จะให้โทษและเป็นพิษได้ เช่น CuSO_4 27 g ทำให้ตายได้ ถ้ารับประทานปริมาณน้อยกว่านี้จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และลำคอกทองแดงเป็นธาตุจำเป็นสำหรับพืชด้วย เช่น จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ของพืช

2.3.3 สังกะสี (มูลนิธิวิกิมีเดีย, 2556)

เป็นธาตุโลหะ มีเลขอะตอม 30 ก่อนข้างหนัก มีสีขาวปนน้ำเงิน จัดเป็นโลหะอ่อน แต่มี ductility ต่ำที่อุณหภูมิบรรยากาศ ถ้าเผาให้ร้อน 100 – 150° C สังกะสีจะมีค่า ductility สูง สามารถรีดเป็นแผ่นหรือเป็นเส้นได้ง่ายมีคุณสมบัติสามารถทนต่อการกัดกร่อน (Corrosion) ในบรรยากาศธรรมดาได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดและด่าง

ประเภทของแร่สังกะสี แร่สังกะสีที่พบในแหล่งต่างๆ ของโลก จำแนกตามสภาพการเกิดทางธรณีวิทยาได้ 2 ประเภท คือ 1. แร่สังกะสีปฐมภูมิ (Primary Zinc) หมายถึง แร่สังกะสีที่เกิดขึ้นมาและยังไม่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ ได้แก่ แร่สฟาเลอไรต์ (Sphalerite) ซึ่งเป็นแร่สังกะสีซัลไฟด์ (Sulphide) มักพบเป็นส่วนใหญ่ในแหล่งต่างๆ ของโลก นอกจากนี้ยังมีแร่สังกะสีซิงไคต์ (Zincite) ซึ่งเป็นแร่สังกะสีออกไซด์ (Oxide) พบแหล่งใหญ่ในรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกา 2. แร่สังกะสีทุติยภูมิ (Secondary Zinc) หมายถึง แร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติแล้ว ได้แก่ แร่เฮมิมอร์ไฟต์ (Hemimorphite) ซึ่งเป็นแร่สังกะสีซิลิเกต (Silicate), แร่สมิทซอไนต์ (Smithsonite) และแร่ไฮโดรซิงค์ไคต์ (Hydrozincite) ซึ่งเป็นแร่สังกะสีคาร์บอเนต (Carbonate) แร่สังกะสีที่พบในประเทศไทยที่แหล่งผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ส่วนใหญ่เป็นแร่สังกะสีซิลิเกตและบางส่วนเป็นแร่สังกะสีคาร์บอเนต

ประโยชน์ของแร่สังกะสีได้แก่การ ถลุงเอาโลหะสังกะสีไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เคลือบแผ่นเหล็ก สังกะสีนึ่งหลังคา กระจกเงา สี ระเบิดอกในของถ่านไฟฉาย ใช้หล่อส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ประกอบรถยนต์ เช่น คาร์บูเรเตอร์ นอกจากนี้ยังใช้ทำยารักษาโรคและเคมีภัณฑ์ต่างๆ

ความเป็นพิษ สังกะสีในรูปธาตุ ไม่ปรากฏความเป็นพิษ หากอยู่ในรูปสารประกอบมีความเป็นพิษอยู่หลายชนิดแต่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขจัดออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าได้รับสารในปริมาณมากการสัมผัสกับผิวหนังเป็นเวลานานสามารถทำให้เกิดผิวหนังอักเสบอย่างรุนแรง การได้รับฝุ่นหรือควันปริมาณมากสามารถทำให้เกิดการรับรสโลหะ, กระจายน้ำอย่างชัดเจน, การไอ, ล้า, อ่อนแอ, ปวดกล้ามเนื้อ และอาการคลื่นไส้ ตามด้วยไข้และอาการหนาวสั่น การได้รับสารนี้อย่างมากอาจทำให้เกิดอาการหลอดลมอักเสบ หรือปอดบวม โดยผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน การได้รับสารเป็นเวลานานสามารถก่อให้เกิด ความผิดปกติของเอนไซม์ในตับแบบชั่วคราว อาจเกิดอาการท้องร่วง, แผลในกระเพาะอาหารและเลือดออกในทางเดินอาหารด้วย

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เกศสุชา พูลคำ (2537) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ชานอ้อยและผักตบชวาในการกำจัด Cu, Ni และ Zn โดยทำการวิจัยแบบ Column Method และ Column ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร วัสดุคืบที่ใช้มีขนาด 0.18-2.12 มิลลิเมตร ในการทดลองจะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีและความเข้มข้นของน้ำเสีย กระบวนการทางเคมีที่ใช้ปรับสภาพคือ Carboxymethylation Reaction และสารเชลลูลอสอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ ด้วยกระบวนการทางเคมี โดยมีการควบคุมอัตราไหลของน้ำเสีย 3 ปริมาตรเรซิน/ชั่วโมง โดยให้ไหลผ่านชั้นสารแลกเปลี่ยนไอออนสูง 20 เซนติเมตร

2. จตุพร และคณะ (2545) ได้ทำการวิจัยศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผักตบชวา โสน และบอน ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยศึกษาระยะเวลา ค่า pH ประสิทธิภาพการดูดซับที่มวลพืชต่าง ๆ กัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของพืชทั้ง 3 ชนิดที่มวลพืช 1 กรัมเท่ากัน ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า จำนวนวันที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลของผักตบชวาและบอนสามารถดูดซับได้ดีที่สุดที่ 4 วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 87.04% และ 58.80% ตามลำดับ ส่วนจำนวนวันที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลของโสนคือ 3 วัน มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 88.59% ค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลของผักตบชวา คือ pH 7 สามารถดูดซับได้ 77.04% บอนและโสนสามารถดูดซับได้ดีที่ pH เท่ากันคือ pH 5 โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 70.87% และ 83.72% ตามลำดับ ที่มวลพืช 1 กรัม พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของโสนจะสูงกว่าผักตบชวา และบอน โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 61.15% , 45.80% และ 40.37% ตามลำดับ ส่วนการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับที่น้ำหนักพืชต่าง ๆ กัน พบว่า สมการ Freundlich ของผักตบชวาคือ $y = 0.5858x + 0.3656$ ที่ $R^2 = 0.398$ สมการของบอนคือ $y = 1.2809x + 0.6837$ ที่ $R^2 = 0.3433$ สมการของโสน คือ $y = 0.7114x + 0.3812$ ที่ $R^2 = 0.8668$ และมีค่าคงที่ ที่คำนวณได้ของผักตบชวา บอน และโสน คือ 2.3206 , 4.8273 และ 2.4055 ตามลำดับ

3. ณวิพันธ์ ทรวงเกียรติกุล (2539) ทำการวิจัยการกำจัดตะกั่วและนิกเกิลจากน้ำเสียโดยใช้ขี้เลื่อย (Sawdust) ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ และน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสีย 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่วและนิกเกิลผสมกันในอัตราส่วน 10:1 ที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม/ลิตร และนิกเกิลเข้มข้น 1, 2 และ 3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และน้ำเสียจากโรงงานประกอบรถยนต์ที่มีระดับความเข้มข้นของตะกั่ว 18.36 มิลลิกรัม/ลิตร และนิกเกิล 2.025 มิลลิกรัม/ลิตร พร้อมทั้งศึกษาผลของการทำรีเจนเนอเรชัน ทำการทดลองแบบต่อเนื่องด้วยอัตราการ

ไหลของน้ำเสีย 7.5 มิลลิลิตร/นาที่ ผ่านชั้นขี้เลื่อยที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ที่บรรจุสูง 30 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างน้ำทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

ผลการทดลอง พบว่า ขี้เลื่อยปรับสภาพแล้วสามารถที่จะดูดซับตะกั่วและนิกเกิลจากน้ำเสียได้ โดยประสิทธิภาพของการกำจัดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกั่วและนิกเกิล และชนิดของน้ำเสีย เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วและนิกเกิลเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพลดลง และประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์จะสูงกว่าในน้ำเสียจากโรงงานประกอบรถยนต์ นอกจากนี้ขี้เลื่อยปรับสภาพที่ผ่านการทำรีเจนเนอเรชันแล้วด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่า ยังคงดูดซับตะกั่วและนิกเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานประกอบรถยนต์ได้สูงสุด 70.16% และ 53.83%

4. **ชีวรีตน์ และคณะ (2544)** ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากเปลือกหอยแครง ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ในท้องถิ่น โดยทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อประเมินความสามารถในการดูดซับตะกั่ว ซึ่งดูดซับที่นำมาทำการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันของขนาด และสารที่ใช้ในการกระตุ้น โดยใช้เปลือกหอยแครงที่มีขนาด 8-16 และ 16-100 เมช กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูและกรดเกลือ พบว่า เปลือกหอยแครงขนาด 16-100 เมชที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชูมีความสามารถในการดูดซับโดยใช้น้ำทิ้งที่มีตะกั่วได้ดีที่สุด ค่าคงที่ที่คำนวณจากสมการการดูดซับแบบ Freundlich มีค่าเท่ากับ 115.82 มิลลิกรัมตะกั่ว/กรัมเปลือกหอยแครง และในการทดสอบแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ของตัวดูดซับ โดยใช้น้ำทิ้งที่มีตะกั่วปนเปื้อนจากห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีความเข้มข้น 15 มิลลิลิตร/ลิตร จากผลของการบำบัดน้ำทิ้งที่มีตะกั่วปนเปื้อนได้ 522 เท่าของปริมาณบรรจุของคอลัมน์ โดยน้ำที่บำบัดแล้วจะมีความเข้มข้นของตะกั่วไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

5. **นันทนา อธิพิรโกวิท (2538)** ได้ทำการวิจัยโดยใช้ผักตบชวาในการกำจัด Cu , Ni และ Zn โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ 2 เซนติเมตร บรรจุวัสดุสูง 20 เซนติเมตร ผักตบชวาที่ใช้มีขนาด 0.18-2.12 มิลลิเมตร ในการทดลองจะเป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีและความเข้มข้นของน้ำเสีย กระบวนการปรับสภาพทางเคมีที่ใช้คือ Sulpoethylation Reaction และ Ceosslink-Xanthation Reaction โดยมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย 3 ปริมาตรเรซิน/ชั่วโมง

จากการทดลอง พบว่า อัตราที่ปรับสภาพเป็นชนิดซัลโฟเอทิลมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 0.233-0.303 น้ำหนักกรัมสมมูลต่อกรัม และชนิดครอสต์ลิง-แซนเทคมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 0.290-0.595 น้ำหนักกรัมสมมูลต่อกรัม ซึ่งมีค่าต่างกันเล็กน้อย เมื่อพิจารณาถึงค่าสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ พบว่าสารปรับสภาพชนิดครอสต์

ลิ่งค์-แซนเทค มีค่าสารเคมีสูงกว่า สำหรับลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของทั้งสองชนิดเหมือนกันดังนี้ $ZN > Ni > Cu$

6. วราภรณ์ และสุรัสวดี (2545) ได้ทำการวิจัยศึกษาความสามารถในการกำจัดทองแดงและนิกเกิล โดยใช้เปลือกไข่ที่มีขนาด 35 เมช โดยทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดงและนิกเกิลโดยใช้สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือปริมาณเปลือกไข่ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ พบว่า สารละลายทองแดง ใช้ปริมาณเปลือกไข่ 5 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำการดูดซับคือ 30 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับรวมกับการตกตะกอนเท่ากับ 97.60% สารละลายนิกเกิลใช้ปริมาณเปลือกไข่ 60 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำการดูดซับคือ 240 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 90.59% และโลหะหนักทองแดงในสารละลายผสมทองแดง-นิกเกิลใช้ปริมาณเปลือกไข่ 2.5 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำการดูดซับคือ 30 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 95.03% โลหะหนักนิกเกิลในสารละลายผสมทองแดง-นิกเกิลใช้ปริมาณเปลือกไข่ 90 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำการดูดซับคือ 180 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 98.64% จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณเปลือกไข่ 90 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำการดูดซับคือ 180 นาทีมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง พบว่า สามารถทำการบำบัดทองแดงและนิกเกิลคิดเป็นประสิทธิภาพได้เท่ากับ 98.67% และ 98.21% ตามลำดับ

7. Bhargava และคณะ (1985) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ซีลีเนียมในการกำจัดโครเมียม ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งละลายน้ำอยู่ในน้ำเสีย การวิจัยนี้เลือกใช้ Batch Experiment โดยทำการแปรค่าตัวแปร ดังนี้ ความเข้มข้นของน้ำเสีย 1, 5, 10, 25 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ความเร็วในการกวน 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 5, 30, 60, 150 และ 300 นาที ทำการกรองเพื่อแยกซีลีเนียมออกแล้ววิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

จากการทดลอง พบว่า เมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำ (1-5 มิลลิกรัม/ลิตร) โครเมียมและตะกั่วถูกกำจัดได้ประมาณ 90-99.9 % และ 80-98.5 % ตามลำดับ เมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้น 10-580 มิลลิกรัม/ลิตร โครเมียมถูกกำจัดได้ประมาณ 55-75.5%, ตะกั่ว 6-30 % และแคดเมียมกำจัดได้สูงเพียง 9 % เท่านั้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเสีย ปริมาณซีลีเนียมที่ใช้ และเวลาที่ใช้ในการทดลอง

8. Freitas (2000) ได้ทำการศึกษาการนำมวลพืชจิงตันฮอลดีโอต์ จากส่วนลำต้น ใบ และราก มาอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส แล้วใช้เป็นตัวดูดซับโครเมียม นิกเกิล ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว จากสารละลายที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน 1000 มิลลิกรัม/ลิตร โยการเจือจางเป็น 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัม/ลิตร โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิปกติ และทำการตรวจวัดปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งพบว่า ในรากโลหะที่ถูกดูดซับได้มีลำดับดังนี้ คือ นิกเกิล แคลเซียม ตะกั่ว ทองแดง และโครเมียม ตามลำดับ ในลำต้น : นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง แคลเซียม และโครเมียม ตามลำดับ ในใบ : นิกเกิล แคลเซียม ทองแดง ตะกั่ว และโครเมียม ตามลำดับซึ่งโลหะที่ถูกดูดซับมากที่สุดในทุกส่วนของลำต้น คือ นิกเกิล (ราก ใบ และลำต้นตามลำดับ) และข้อมูลจากการทดลองที่ผ่านมายังแสดงว่า ส่วนที่ถูกดูดซับนิกเกิลมากที่สุดคือราก ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นว่า รากของต้นฮอल्लीอืดสามารถทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับนิกเกิลประสิทธิภาพในการปลดปล่อยโลหะออกจากมวลพืชนั้นสามารถทำได้ถึง 55-90% และผลจากการนำมวลพืชกลับมาใช้ใหม่ก็ให้ประสิทธิภาพที่น่าพอใจ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำพืชกลับมาใช้ใหม่

9. Krishnan และคณะ (1988) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ใบต้นรูปฤๅษี (Caltail Leaves) และเส้นผมของคนในการกำจัดโลหะหนัก ได้แก่ Cd, Hg และ Pb การวิจัยนี้เลือกใช้แบบการทดลองที่ละเท โดยมีการแปรค่าความเข้มข้นของเสีย 1-100 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้ปริมาณใบต้นรูปฤๅษีและเส้นผม 50-200 มิลลิกรัม โดยใบต้นรูปฤๅษีที่ใช้ในการทดลองนี้จะถูกตัดให้มีความยาว 5 ซม. และอบให้แห้งที่ 100 องศาเซลเซียส ส่วนเส้นผมที่ใส่จะถูกตัดให้มีความยาว 0.5 ซม. จากนั้นนำไปแช่ใน Ether นาน 30 นาที แล้วจึงล้างด้วยน้ำ

จากการทดลองพบว่า ใบต้นรูปฤๅษีสามารถกำจัด Cd ได้ประมาณร้อยละ 21-73 , Hg ได้ประมาณร้อยละ 43-54 และ Pb ได้ประมาณร้อยละ 50-68 ส่วนเส้นผมสามารถกำจัด Hg ได้เพียงอย่างเดียวโดยกำจัดได้ประมาณร้อยละ 74-83

10. Rendall และคณะ (1976) ทำการวิจัยโดยใช้เปลือกไม้กำจัดไอออนของโลหะทองแดง แคลเซียม และตะกั่ว โดยทำการปรับสภาพเปลือกไม้เพื่อลดสีที่ตกจากไม้ด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 35% ในกรดซัลฟูริก 0.2 N นำเปลือกไม้มาบดและร่อนคัดขนาดระหว่าง 0.29-2.00 มิลลิเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 38 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพทางเคมี โดยใช้สัดส่วนของเปลือกไม้ฟอร์มัลดีไฮด์ต่อกรดซัลฟูริกเท่ากับ 2:1:20 กวนนาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วล้างด้วยน้ำเย็นจนน้ำล้างมีพีเอชมากกว่า 4 จึงนำไปอบแห้ง

การทดลองนำเปลือกไม้ที่ไม่ได้ปรับสภาพ 1 กรัม ผสมกับน้ำหรือสารละลายโลหะหนักจำนวน 100 มิลลิลิตร ส่วนเปลือกไม้ที่ปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ จะใช้สารละลายที่กรองจากขบวนการปรับสภาพมาเจือจางเป็น 10 เท่า เพื่อให้ได้สัดส่วนเปลือกไม้ต่อสารละลาย 1:100 แล้วนำน้ำหรือสารละลายโลหะหนักที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ส่วนการทดลองกำจัดโลหะหนัก 100 มิลลิกรัม ทั้งไว้นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำการกรอง นำไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณโลหะหนักในน้ำ และการทดลองแบบคอลัมน์ โดยการบรรจุเปลือกไม้ 40 กรัม ในคอลัมน์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ป้อนสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ เข้มข้น 18 ppm ด้วยอัตราการไหล 8 มิลลิเมตร/นาที่ แล้วทำการวัดโลหะตะกั่วในน้ำหลังผ่านคอลัมน์

จากผลการทดลองพบว่า เปลือกไม้ที่ไม่ได้ปรับสภาพจะมีสีออกมามากกว่าเปลือกไม้ที่ปรับสภาพถึง 23-68 เท่า ตามแต่ชนิดของไม้ และจากการทดลองแบบที่ละเทพบ่า พีเอชของน้ำเสีย จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ความสามารถของการจับโลหะไอออนลดลง และความสามารถของการจับ ไอออนของโลหะจะขึ้นอยู่กับชนิดของไม้แต่ละชนิด และสารประกอบที่ใช้เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ส่วนการทดลองแบบคอลัมน์พบว่า เปลือกไม้สามารถจับ ไอออนของโลหะตะกั่วให้ดีกว่าการทดลองแบบที่ละเท โดยสามารถที่จะจับ ไอออนของตะกั่วได้ประมาณ 0.608 กรัมของตะกั่ว/กรัมเปลือกไม้

11. Tan และคณะ (1988) ทำการวิจัยโดยใช้กากใบชากำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ใบชา ที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นใบชาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปการเกษตร นำมาบดและคัดขนาด 60-80 เมช นำไปต้มในน้ำร้อนเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 0.1 M เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการทดลองแบบ Batch Operation ใช้ปริมาณกากใบชาตั้งแต่ 0-40 มิลลิกรัม/ลิตร กับน้ำเสียในความเข้มข้นต่างๆ และที่ระดับพีเอชต่างๆ กันเขย่านาน 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำไปวิเคราะห์สารตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีที่เหลืออยู่ในน้ำ ส่วนการวิจัยแบบคอลัมน์ บรรจุกากใบชา 1.87 กรัม โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ กันและที่อัตราไหลของน้ำเสียต่างๆกัน

จากผลการทดลองแบบ Batch Operation พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากใบชาจะสามารถ กำจัด ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีได้มากขึ้น และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่พีเอช 6 และความสามารถในการดูดซับตะกั่วแคดเมียมและสังกะสี มีค่าเท่ากับ 0.38, 0.28 และ 0.18 มิลลิโมล/กรัมของใบชาตามลำดับ และผลการทดลองแบบคอลัมน์พบว่า โลหะหนักทั้ง 3 เมื่อมีความเข้มข้นในน้ำเสียเป็น 100 มก./ลิตร ในปริมาณน้ำเสีย 100 มิลลิลิตรจะถูกกำจัดได้เกือบ 100% เมื่อใช้ใบชา 1.87 กรัมที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 และพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหล ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักทั้งสามชนิดจะลดลง

12. Okieimen และ Onyemkpa (1989) ได้ทำการวิจัยโดยใช้เปลือกเมล็ดแตงโมกำจัด ตะกั่วในน้ำเสีย การวิจัยเลือกใช้แบบคอลัมน์ ใช้ทดสอบการกำจัดตะกั่วด้วยเปลือกเมล็ดแตงโมที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพทางเคมี โดยใช้คอลัมน์ที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 35

เช่นติเมตร ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย 1 มิลลิลิตร/นาที่ ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และ
แปรผันปริมาตร ของน้ำเสียที่ใช้ 50,100, 400, 800 และ 1000 มิลลิลิตร

ผลการทดลองพบว่า เปลือกเมล็ดเตงโมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมี
สามารถจัดตะกั่วได้มากกว่าเปลือกเมล็ดเตงโมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี และสามารถกำจัด
ตะกั่วได้ถึง 62-95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานนิกเกิล (Standard nickel) เข้มข้น 1000 ppm (Lab Reagent, Carb Erba)
2. สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ (Standard copper) เข้มข้น 1000 ppm (Lab reagent, Carb Erba)
3. สารละลายมาตรฐานซิงค์ (Standard Zinc) เข้มข้น 1000 ppm (Lab reagent, Carb Erba)
4. สารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 1000 ppm และ 1 ppm
5. สารละลายคอปเปอร์ความเข้มข้น 1000 ppm และ 1 ppm
6. สารละลายซิงค์ความเข้มข้น 1000 ppm และ 1 ppm
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (Analytical grade, Fisher Chemicals)
8. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (Analytical grade, Merck)
9. กรดไนตริก (Nitric acid, HNO₃) เข้มข้น 10% (Analytical grade, Merck)
10. กรดไนตริก (Nitric acid, HNO₃) เข้มข้น 20% (Analytical grade, Merck)
11. ขุยมะพร้าว

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น PerkinElmer precisely 200
2. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 827
3. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Isotemp Oven, Fisher Scientific
4. เครื่องเขย่า ยี่ห้อ Gallenkamp Orbital Shaker
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งยี่ห้อ ยี่ห้อ Sartorius รุ่น E02245
6. ตะแกรงคัดขนาดเบอร์
7. ถาดสแตนเลส
8. จุกยางแดง
9. ถุงมือ
10. กระบอกล้างน้ำกลั่น
11. กระดาษกรอง Whatmanเบอร์ 42
12. Filter 0.45 syring
13. กรวยกรองบุชเนอร์
14. ชุดเครื่องกรองยี่ห้อ Tokyo Rikakiaiรุ่น A-35
15. ขวดพลาสติก Polyethylene
16. เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

หมายเหตุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผ่านการแช่ HNO_3 , 20% นาน 1 วันล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วเก็บไว้ในภาชนะปิดสนิท

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวดูดซับขุยมะพร้าว

นำขุยมะพร้าวและเส้นใยมาล้างน้ำให้สะอาดอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาดแบบละเอียด 20 mesh และแบบหยาบ 10 mesh นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นและเก็บไว้ในเดซิคเคเตอร์

3.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ

3.2.2.1 ศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม

ขังขุยมะพร้าวแบบละเอียดและ แบบหยาบใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 1 กรัม ใส่ น้ำ

เสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี 1 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 7 ด้วย NaOH 0.1 N และ/หรือ HCl 0.1 N นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 20, 40 และ 60 นาที กรองแยกขุยมะพร้าวออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และชุดเครื่องกรอง กรองสารตัวอย่างด้วย Filter 0.45 syring วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ ณ. เวลา 20, 40 และ 60 นาที ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับระยะเวลาการดูดซับ

3.2.2.2 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับ

ขังขุยมะพร้าวแบบละเอียดและ แบบหยาบใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 1 กรัม ใส่ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี 1 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 4, 5, 6, 7, 8 ด้วย NaOH 0.1 N และ/หรือ HCl 0.1 N นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที ในช่วงเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1 กรองแยกขุยมะพร้าวออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และชุดเครื่องกรอง กรองสารตัวอย่างด้วย Filter 0.45 syring วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ ณ.ค่า pH 4, 5, 6, 7, 8 ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักกับค่า pH

3.2.2.3 ศึกษาอัตราการปั่นกวนที่เหมาะสม

ขังขุยมะพร้าวแบบละเอียดและ แบบหยาบใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 1 กรัม ใส่ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี 1 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายในช่วงที่เหมาะสมจากข้อ 2 ด้วย NaOH 0.1 N และ/หรือ HCl 0.1 N นำไปเขย่าที่ความเร็ว 60, 90, 120 และ 150 รอบ/นาที ในช่วงเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1 กรองแยกขุยมะพร้าวออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และชุดเครื่องกรอง กรองสารตัวอย่างด้วย Filter 0.45 syring วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ที่ความเร็วในการปั่นกวน 60, 90, 120 และ 150 รอบ/นาที ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าความเร็วรอบการปั่นกวน

3.2.2.4 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลในการดูดซับ

ขังขุยมะพร้าวแบบละเอียดและ แบบหยาบใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 1 กรัม ใส่ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี 50, 100, 150, 200 และ 250 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับ pH ที่เหมาะสมของสารละลายที่ได้จากข้อ 2 ด้วย NaOH 0.1 N และ/หรือ HCl 0.1 N นำไปเขย่าที่ความเร็วในช่วงที่ได้จากข้อ 3 และในช่วงเวลาที่เหมาะสมจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองข้อ 1 กรองแยกขุยมะพร้าวออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และชุดเครื่องกรอง กรองสารตัวอย่างด้วย Filter 0.45 syring วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200 และ 250 ppm ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าความเข้มข้นต่างๆ ของน้ำตัวอย่างสังเคราะห์

3.2.2.5 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ชั่งขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ใส่น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี 50 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายในช่วงที่เหมาะสม ด้วย NaOH 0.1 N และ/หรือ HCl 0.1 N นำไปเขย่าที่ความเร็วในช่วงที่เหมาะสม และในช่วงเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1 กรองแยกขุยมะพร้าวออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และชุดเครื่องกรอง กรองสารตัวอย่างด้วย Filter 0.45 syring วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ ณ. ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เขียนกราฟลอการิทึมระหว่างความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือในน้ำ (C) กับปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (X/M)

3.2.2.6 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี

ชั่งขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 1 กรัมใส่น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี 1 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายในช่วงที่เหมาะสมจากข้อ 2 ด้วย NaOH 0.1 N และ/หรือ HCl 0.1 N นำไปเขย่าที่ความเร็วในช่วงที่เหมาะสมจากข้อ 3 และในช่วงเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1 กรองแยกขุยมะพร้าวออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และชุดเครื่องกรอง กรองสารตัวอย่างด้วย Filter 0.45 syring เก็บขุยมะพร้าวที่ทำการดูดซับโลหะแล้วไว้ใช้ในการทดลองการคายซับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เขียนกราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ

3.2.3 การคายซับ (desorption)

นำขุยมะพร้าวจากการทดลองที่ 6 มาใส่ขวดรูปชมพู่ ขวดละ 1 กรัมใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 M ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที กรองแยกขุยมะพร้าวออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และชุดเครื่องกรอง ปรับพีเอชก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer กรองสารตัวอย่างด้วย Filter 0.45 syring วิเคราะห์

ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เขียนกราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคายซับ นิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจากขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การนำเสนอโครงการพิเศษเรื่อง ศึกษาการดูดซับ โลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี ในน้ำเสียโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวดูดซับ จะแบ่งการศึกษาเป็นส่วนๆ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี โดยศึกษาขนาดอนุภาค ระยะเวลาในการสัมผัส ค่าความเป็นกรดด่าง ความเร็วรอบในการปั่นกวนที่เหมาะสม ศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียและการใช้ปริมาณของตัวดูดซับที่แตกต่างกันและนำประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีมาเปรียบเทียบกับว่าขุยมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะชนิดใดได้มากที่สุด และนำสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์มาทำการทดลองดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจริง การนำเสนอการทดลองจะอยู่ในรูปของภาพประกอบ ขั้นตอนการทดลองและการอธิบายเพื่อสะดวกในการทำความเข้าใจดังนี้

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของพืช

นำขุยมะพร้าวนำมาล้างให้สะอาดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง คัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาดแบบละเอียด 10 mesh และแบบหยาบ 10 mesh นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นและเก็บไว้ในเดซิเกตเตอร์

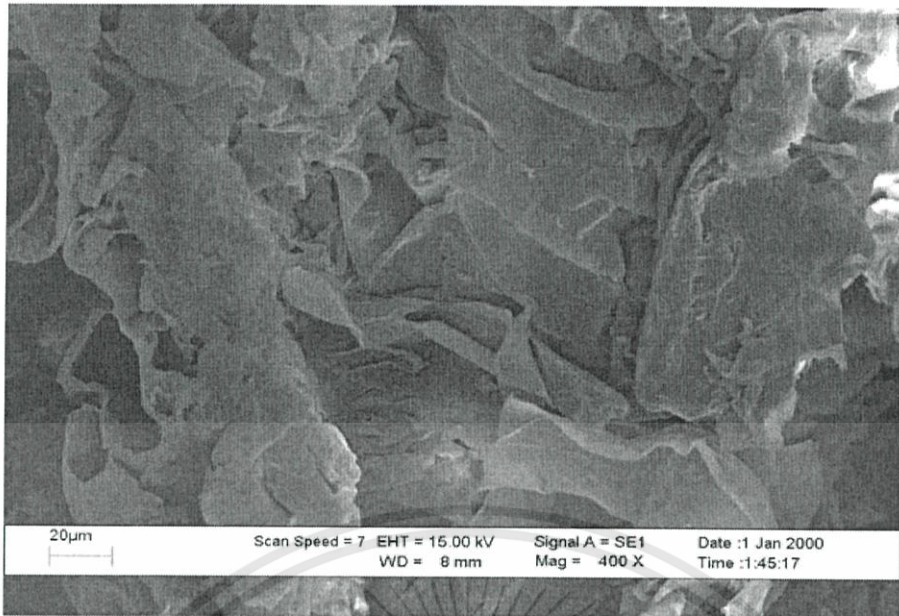


(ก)

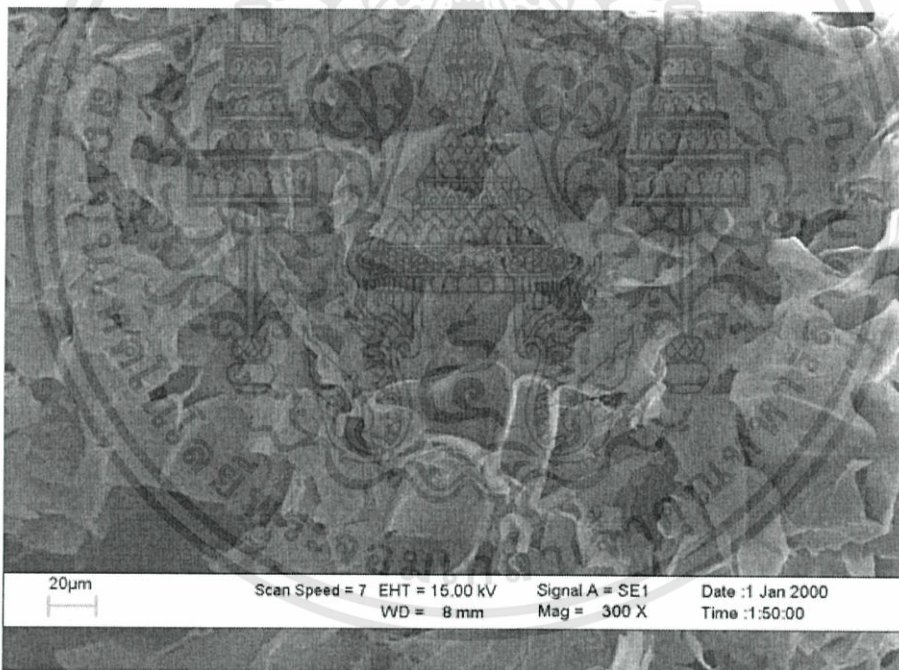
(ข)

รูปที่ 4.1 (ก) ลักษณะของขุยมะพร้าวแบบละเอียดก่อนนำไปทำการดูดซับ

(ข) ลักษณะของขุยมะพร้าวแบบหยาบก่อนนำไปทำการดูดซับ



(ก)



(ข)

- รูปที่ 4.2 (ก) โครงสร้างของขุยมะพร้าวแบบละเอียดก่อนการกดซับเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน scanning electron microscope (SEM)
- (ข) โครงสร้างของขุยมะพร้าวแบบหยาบก่อนการกดซับเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน scanning electron microscope (SEM)

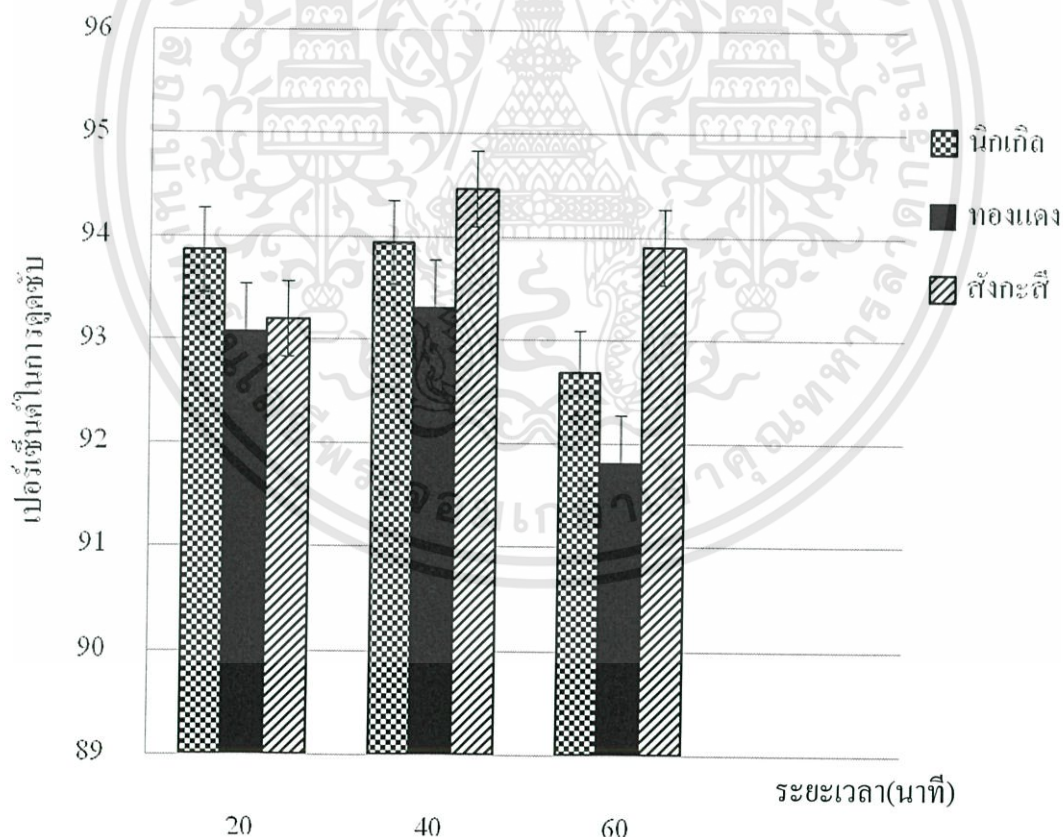
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาโครงสร้างของขุยมะพร้าวก่อนการดูดซับ โดยนำไปส่องกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า โครงสร้างเส้นใยขุยมะพร้าวมีรูพรุนเหมาะสมจะพัฒนาเป็นตัวดูดซับได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2 ผลการศึกษาความสามารถของตัวดูดซับต่อโลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี

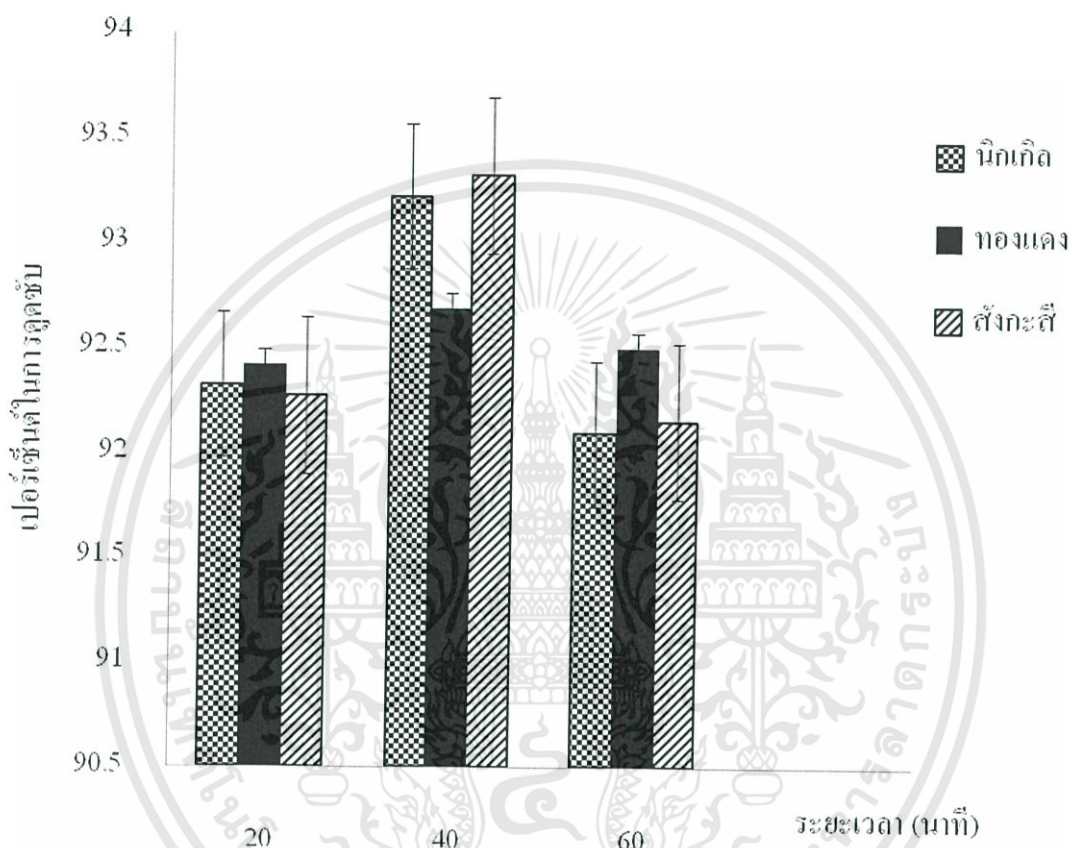
4.2.1 ศึกษาระยะเวลาดูดซับที่เหมาะสม

จากการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับทำได้โดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์นิกเกิลทองแดงและสังกะสีความเข้มข้น 1 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อขุยมะพร้าว 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 20, 40 และ 60 นาที แล้ววิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่เหลืออยู่ ณ. เวลา 20, 40 และ 60 นาที นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับระยะเวลาการดูดซับในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าวได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 (จากตารางภาคผนวก ก.1 ถึง ก.3)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับระยะเวลาการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีด้วยขุยมะพร้าวจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่เวลา 40 นาทีแต่ที่เวลา 60 นาทีเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเริ่มลดลงที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะว่ามีการปลดปล่อยโลหะหนักที่ดูดซับเข้าไปแล้วออกมา ดังนั้นจึงทำการเลือกระยะเวลาการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีได้ดีที่สุดคือที่เวลา 40 นาทีซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ดูดซับ 93.95, 93.32 และ 94.47 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับระยะเวลาการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับนิกเกิล คอปเปอร์และสังกะสีด้วยขุยมะพร้าวจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่เวลา 40 นาทีแต่ที่เวลา 60 นาทีเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเริ่มลดลงเช่นเดียวกับขุยมะพร้าวแบบละเอียด ดังนั้นจึงทำการเลือกระยะเวลาการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีได้ดีที่สุดคือที่เวลา 40 นาทีซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ดูดซับ 93.22, 92.68 และ 93.32 เปอร์เซ็นต์

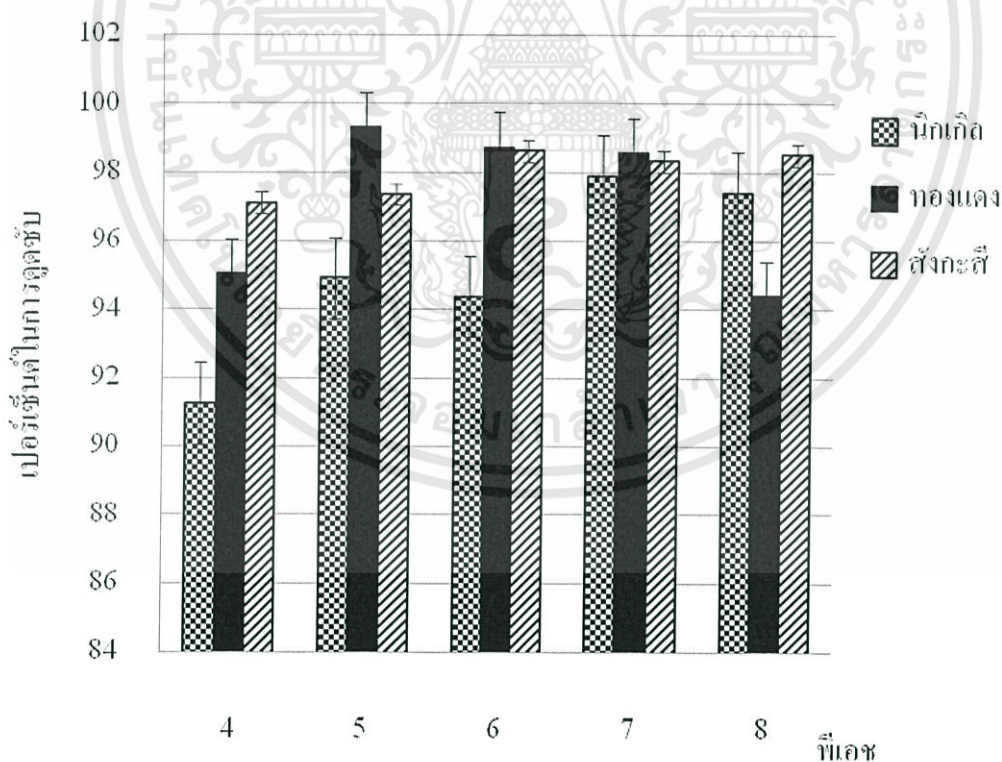
จากกราฟการวิเคราะห์โปรแกรมทางสถิติ SPSS ด้วยเครื่องมือ one way anova พบว่าที่ระยะเวลา 0 ถึง 40 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น และที่ระยะเวลา 40 ถึง 60 นาที

ประสิทธิภาพการดูดซับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 40 นาที ในการทดลองต่อไป

จากการดูดซับของขุยมะพร้าวเวลาต่างๆ จะพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและเมื่อถึงจุดสูงสุดค่าการดูดซับที่ได้จะลดลง เนื่องจากเกิดการ Desorption (จตุพร, 2545) ในกรณีของขุยมะพร้าวแบบละเอียดสามารถดูดซับสังกะสีได้ 94.47% นิกเกิล 93.95% และทองแดง 93.32% และขุยมะพร้าวแบบหยาบสามารถดูดซับสังกะสีได้ 93.32% นิกเกิล 93.27% และทองแดง 92.27%

4.2.2 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับ

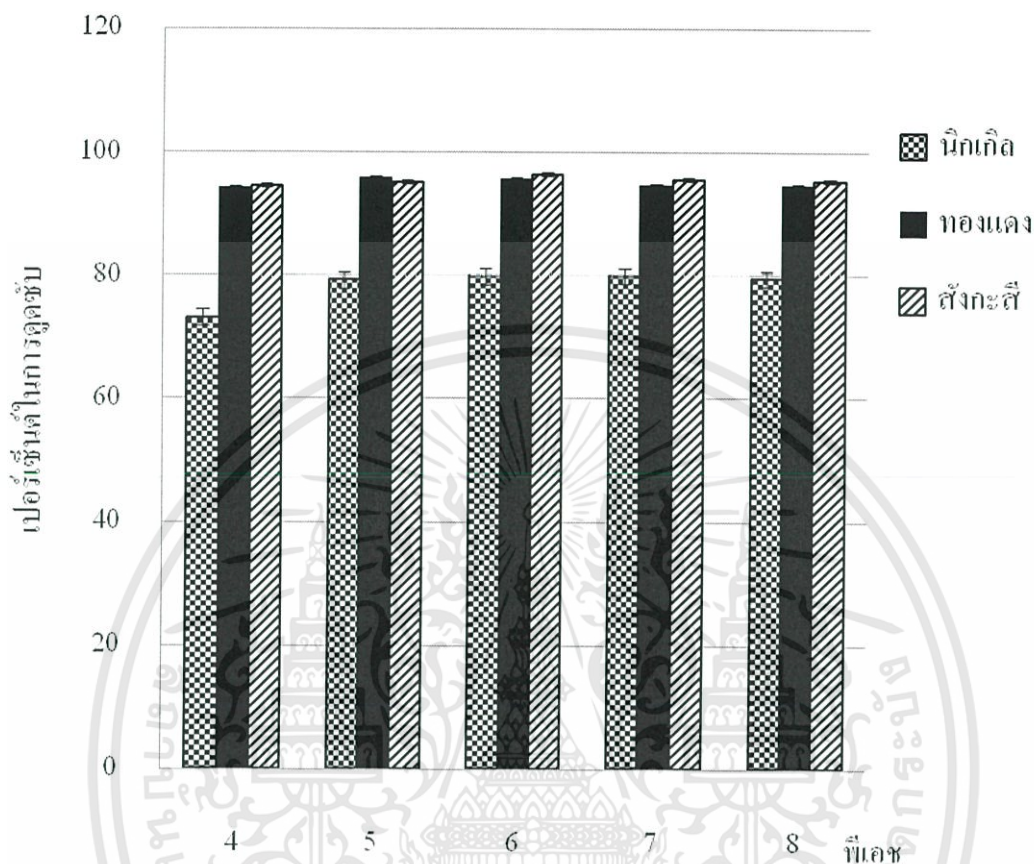
จากการศึกษาเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับทำได้โดยใช้สารละลาย นิกเกิล, ทองแดงและสังกะสีสังเคราะห์ความเข้มข้น 1 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อขุยมะพร้าว 1 กรัมปรับค่าพีเอชให้ได้ 4, 5, 6, 7, และ 8 นำไปเขย่าตามเวลาที่เหมาะสม แล้ววิเคราะห์ปริมาณ นิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่เหลืออยู่ ณ. ค่าพีเอชต่างๆ นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าพีเอชในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าว ได้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 (จากตารางภาคผนวก ก.4 ถึง ก.6)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าพีเอชในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

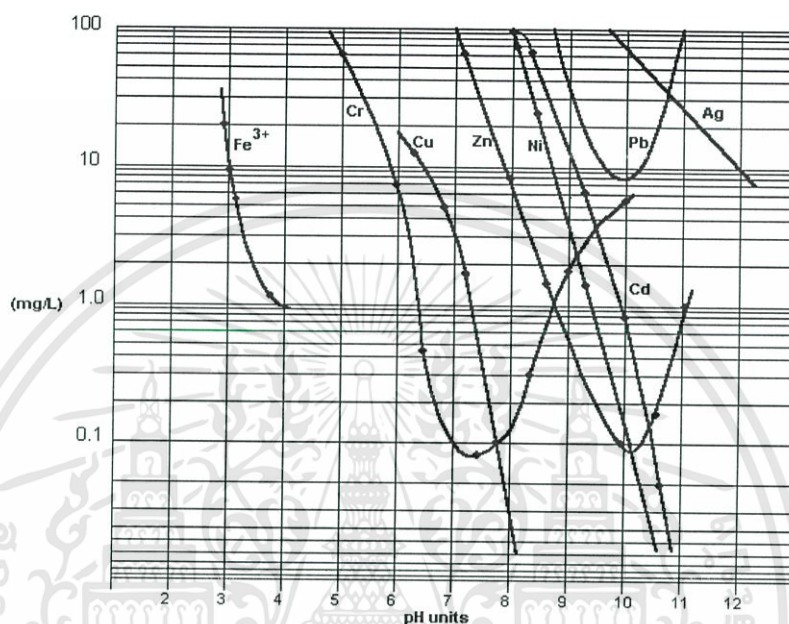
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับนิกเกิลจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเป็นเบสและดูดซับได้ดีที่สุดที่ค่าพีเอช 7 ทองแดงจะดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 5 และสังกะสีดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 6 โดยนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีดูดซับได้สูงสุด 97.90% , 99.33% และ 98.65% ตามลำดับ



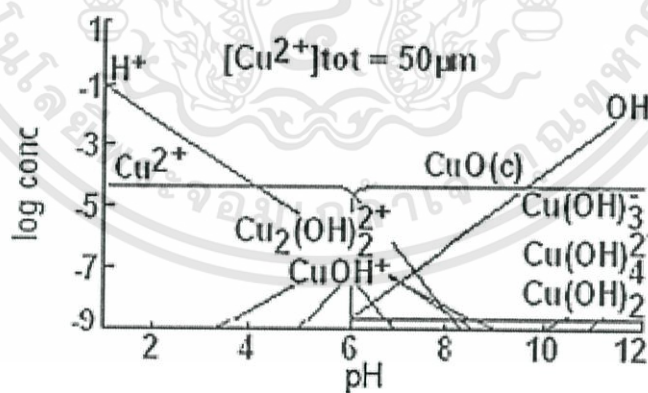
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าพีเอชในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับนิกเกิลจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเป็นเบสและดูดซับได้ดีที่สุดที่ค่าพีเอช 7 ทองแดงจะดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 5 และสังกะสีดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 6 เช่นเดียวกับการใช้ขุยมะพร้าวแบบละเอียด โดยนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีดูดซับได้ 79.95%, 95.88% และ 96.47% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการตกตะกอนเคมีของทองแดง สังกะสี และนิกเกิลของ Liberto และคณะ (2011) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 – 4.10 เมื่อ pH ลดลงไฮโดรเจนไอออนในระบบจะเพิ่มมากขึ้น ไฮโดรเจนไอออนส่วนหนึ่งจะถูกดึงดูดกับหมู่ฟังก์ชันที่เป็นประจุลบของขุยมะพร้าวซึ่งขุยมะพร้าวมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน OH^- อยู่ ทำให้ความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะหนักลดลง แต่เมื่อ pH ในสารละลายเพิ่มสูงขึ้นจะมีไฮดรอกไซด์ไอออนเพิ่มขึ้น แสดงว่า ระบบประกอบด้วยขุยมะพร้าว ไอออนโลหะหนัก และไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งขุยมะพร้าวที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุลบจะทำหน้าที่ในการดูดซับหรือจับกับไอออน

โลหะหนัก ที่มีประจุบวกเพียงอย่างเดียว จะไม่มีผลกับไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีประจุลบเหมือนกัน แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่ pH สูงมากๆ (หลุทัย, 2547) สารละลายจะอยู่ในรูปของ Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} เพียงเล็กน้อยแต่จะอยู่ในรูปของ $\text{M}(\text{OH})^+$ และ $\text{M}(\text{OH})_2$ เป็นส่วนมาก (Zhu และคณะ, 2008)

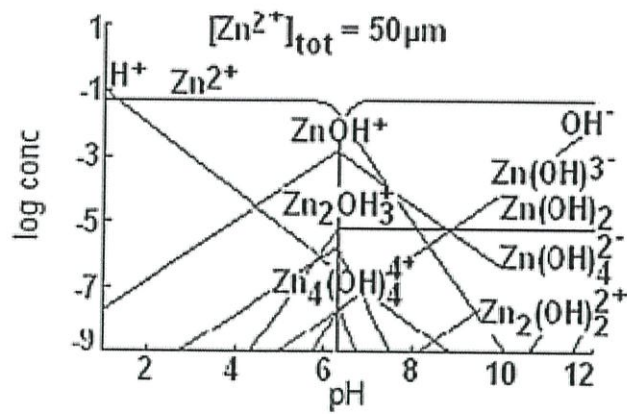


รูปที่ 4.7 การตกตะกอนทางเคมีของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่ pH ต่างๆ (Hoffland Environmental Inc, 2012)

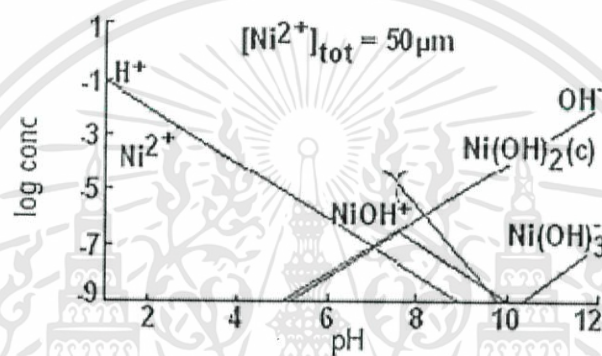


รูปที่ 4.8 การตกตะกอนทางเคมีของทองแดง ที่ pH ต่างๆ (Liberto และคณะ, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การตกตะกอนทางเคมีของสังกะสี ที่ pH ต่างๆ (Liberto และคณะ, 2011)



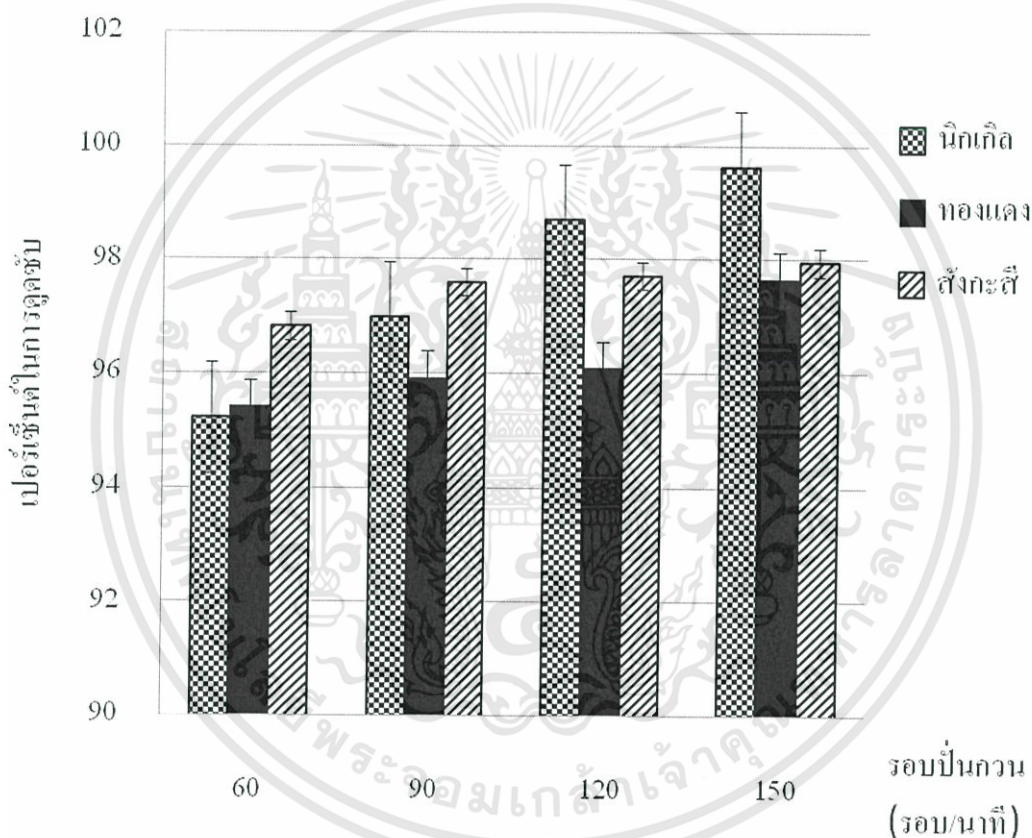
รูปที่ 4.10 การตกตะกอนทางเคมีของนิกเกิล ที่ pH ต่างๆ (Liberto และคณะ, 2011)

จากการทดลองทำการศึกษาโดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 1 ppm จากกราฟแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของโลหะหนัก 1 ppm ทองแดงจะเริ่มตกตะกอนที่ pH 6 สังกะสีเริ่มตกตะกอนที่ pH 8 และนิกเกิลเริ่มตกตะกอนที่ pH 9 ที่ค่า pH สูงขึ้น โลหะหนักชนิดต่างๆ จะจับกับไฮดรอกไซด์และเกิดการแตกตัวแยกออกมาเป็นตะกอน

การดูดซับของขุยมะพร้าวที่ค่าพีเอชต่างๆ จะพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงที่เป็นเบส และเมื่อถึงค่าพีเอชที่สารละลายแต่ละชนิดสามารถตกตะกอนได้ค่าการดูดซับจะเริ่มลดลง เมื่อ pH สูงขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยทองแดง สังกะสีและนิกเกิลสามารถดูดซับได้สูงสุดที่พีเอช 5, 6 และ 7 ตามลำดับ และเราได้ทำการเลือกช่วงพีเอชที่เหมาะสมของทองแดง สังกะสีและนิกเกิลที่ pH 5, 6, และ 7 เนื่องจากป้องกันการตกตะกอนและเป็นการประหยัดสารเคมีในการปรับค่า pH โดยให้สิ้นเปลืองน้อยที่สุด โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับของทองแดง สังกะสีและนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียดได้ 99.33%, 98.65% และ 97.90% ส่วนขุยมะพร้าวแบบหยาบดูดซับได้ 95.88%, 96.47% และ 79.95%

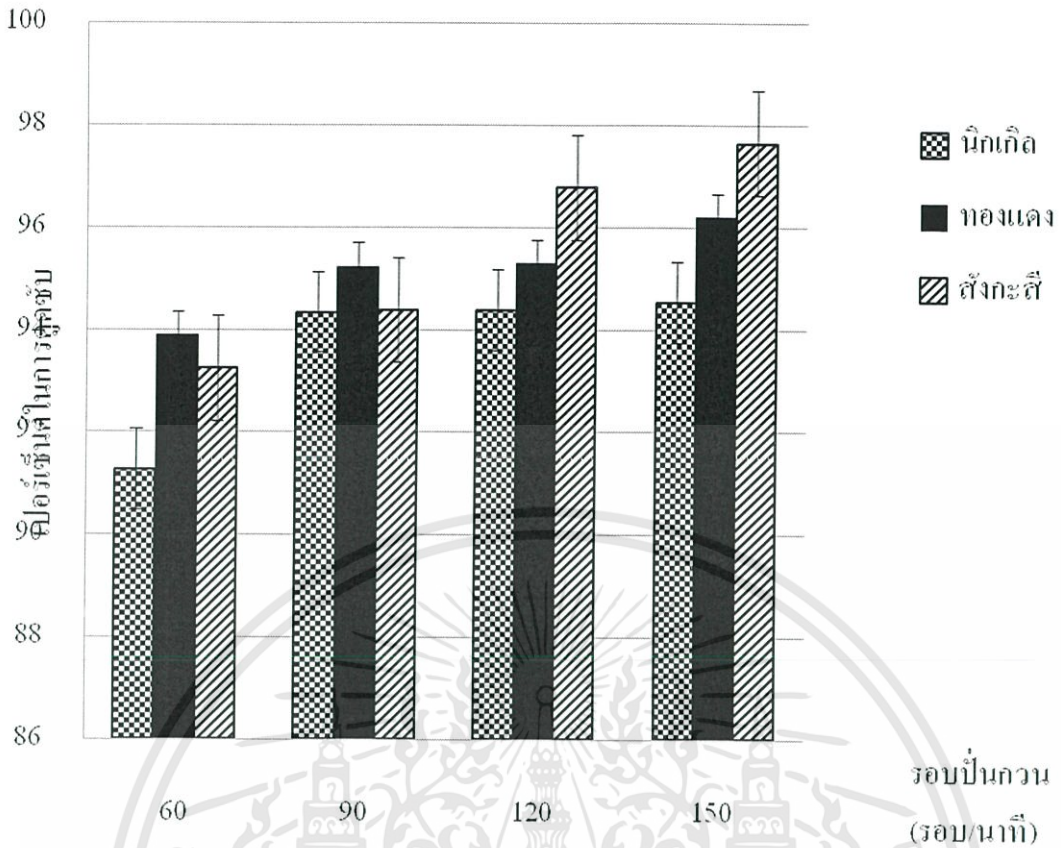
4.2.3 ศึกษาอัตราการปนกววนที่เหมาะสม

จากการศึกษาเพื่อหาอัตราการปนกววนที่เหมาะสมในการดูดซับทำได้โดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์นิกเกิลทองแดงและสังกะสีความเข้มข้น 1 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อขุยมะพร้าว 1 กรัมปรับค่าพีเอชและนำไปเขย่าตามเวลาที่เหมาะสมโดยใช้จำนวนรอบในการเขย่าเป็น 60, 90, 120 และ 150 รอบ/นาที แล้ววิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่เหลืออยู่ ณ. รอบการปนกววนต่างๆ นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับการปนกววนในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าวได้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 (จากตารางภาคผนวก ค.7 ถึง ค.9)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับรอบการปนกววนในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อรอบในการปนกววนเพิ่มขึ้นและดูดซับได้ดีที่สุดที่รอบการปนกววน 150 รอบ/ในการทดลองนี้นิกเกิลสามารถดูดซับได้ดีที่สุด 99.64% สังกะสี 97.96% และทองแดง 97.65%



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสุกสุบกับรอบการปั่นกวนในการสุกสุบของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

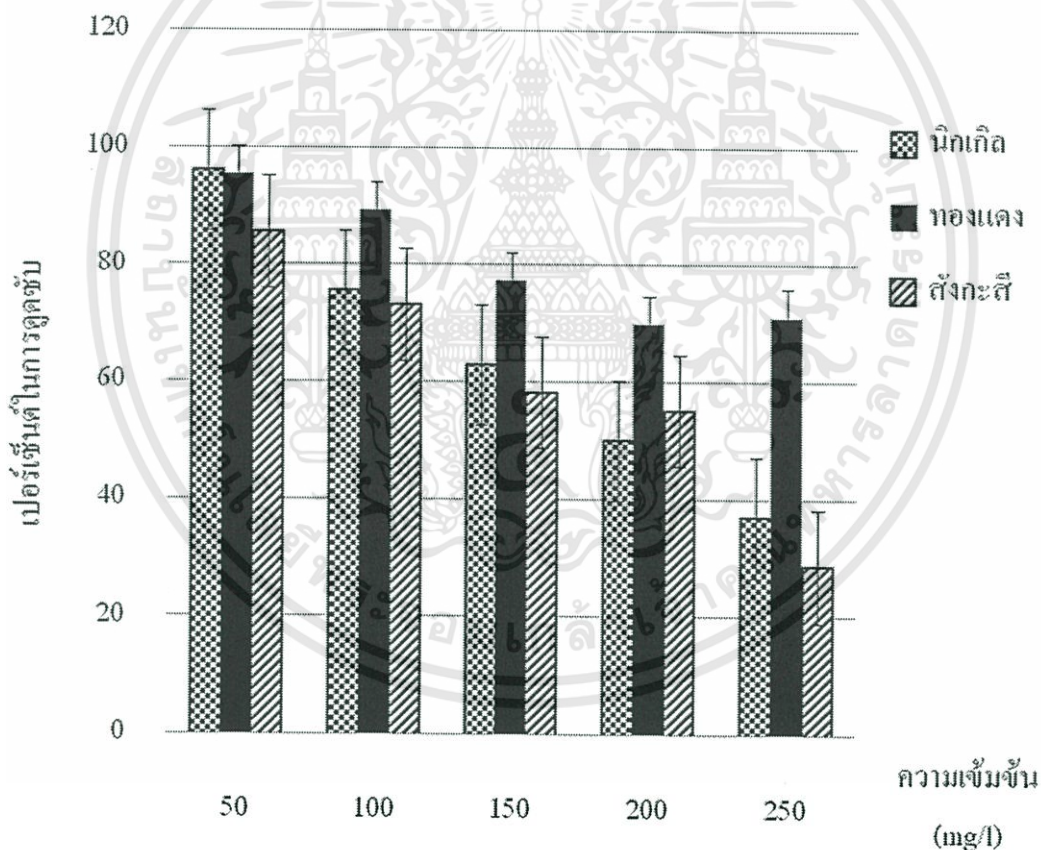
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการสุกสุบของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อรอบในการปั่นกวนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการใช้ขุยมะพร้าวแบบละเอียดและสุกสุบได้ดีที่สุดที่รอบการปั่นกวน 150 รอบ/นาที ในการทดลองนี้สังกะสีสามารถสุกสุบได้ดีที่สุด 97.65% ทองแดง 96.19% และนิกเกิล 94.53% จากอัตราการปั่นกวนถ้าน้ำมีการปั่นกวนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบด้วยสารสุกสุบจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารสุกสุบในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีการปั่นกวนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารสุกสุบได้เร็วดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของสารสุกสุบ (ธนพล และคณะ, 2547)

จากการสุกสุบของขุยมะพร้าวที่รอบการปั่นกวนต่างๆ จะพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อรอบการปั่นกวนเพิ่มขึ้นและรอบปั่นกวนที่เหมาะสมคือ 150 รอบ/นาที หน้าที่ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากระยะเวลาการสัมผัสมากขึ้นระยะเวลาในการสุกสุบจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยทองแดง สังกะสีและนิกเกิลการใช้ขุยมะพร้าวแบบละเอียดนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี

สามารถดูดซับได้ดีที่สุด 99.64% , 97.65% และ 97.96% และแบบหยาบ 94.53%, 96.19% และ 97.65%

4.2.4 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลในการดูดซับ

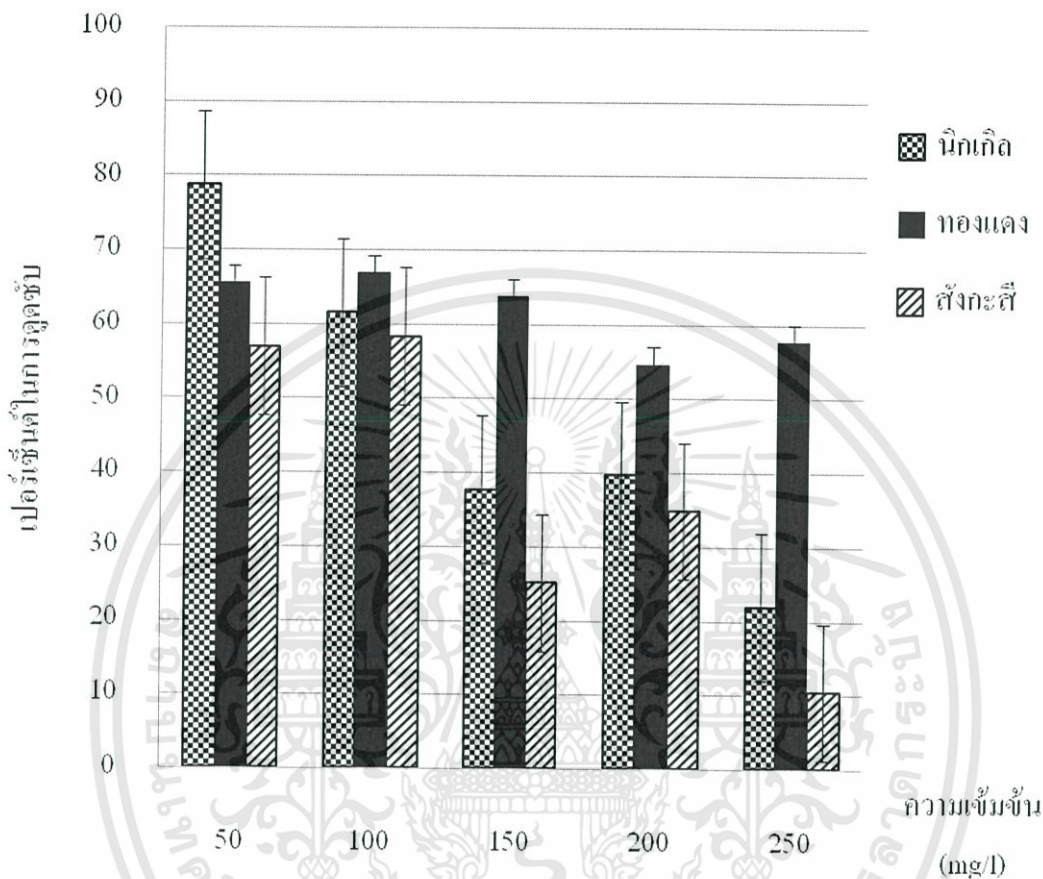
จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลในการดูดซับทำได้โดยใช้สารละลายนิกเกิล, ทองแดงและสังกะสีสังเคราะห์ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200 และ 250 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อขุยมะพร้าว 1 กรัมปรับค่าพีเอชและนำไปเขย่าตามเวลาที่เหมาะสมแล้ววิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่เหลืออยู่ ณ. ความเข้มข้นต่างๆ นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับความเข้มข้นสารละลายนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าวได้ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 (จากตารางภาคผนวก ค.10 ถึง ค.12)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจะค่อยๆ ลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200 และ 250 ppm ขุยมะพร้าวแบบ

ละเอียดสามารถดูดซับนิกเกิลได้ 96.14, 75.73, 63.06, 50.12 และ 37.09 เปอร์เซ็นต์ ทองแดง 95.32, 89.22, 77.24, 69.73 และ 71.01 เปอร์เซ็นต์ สังกะสี 85.74, 73.25, 58.34, 55.29 และ 28.77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี

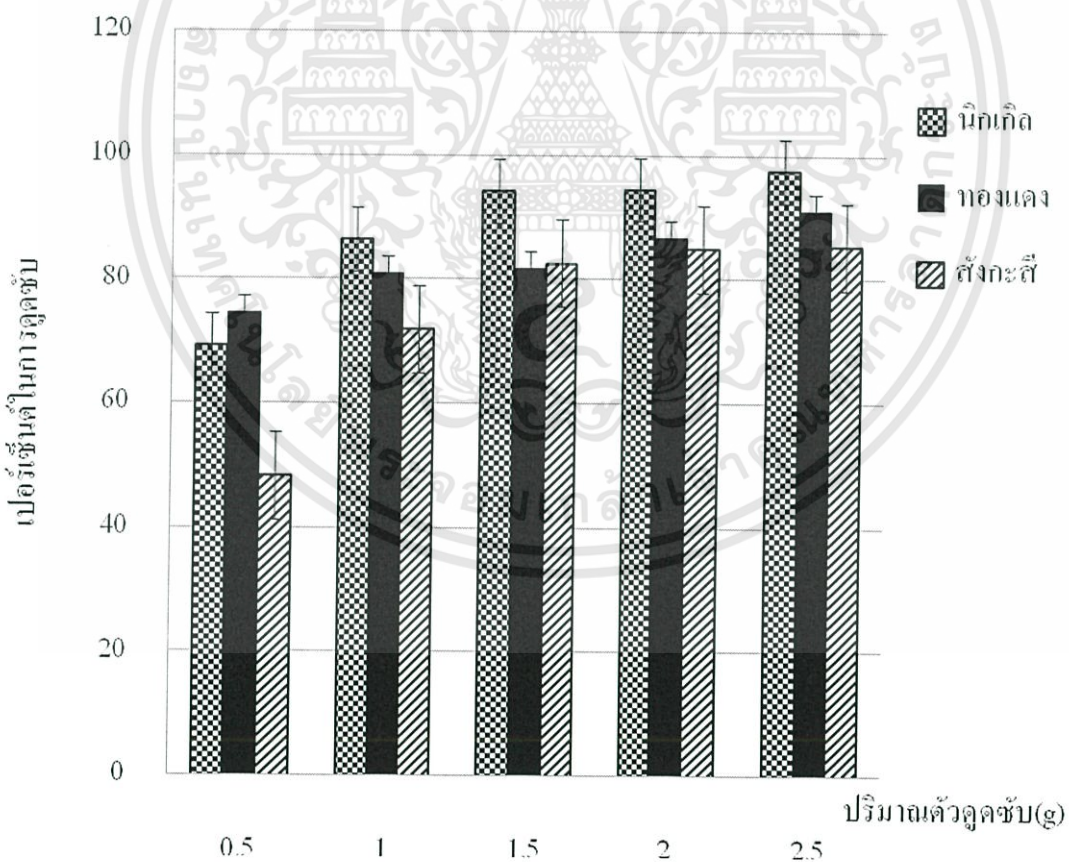
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจะค่อยๆลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการใช้ขุยมะพร้าวแบบละเอียดที่ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200 และ 250 ppm ขุยมะพร้าวแบบหยาบสามารถดูดซับนิกเกิลได้ 78.8, 61.58, 37.75, 39.77 และ 21.9 เปอร์เซ็นต์ ทองแดง 65.53, 66.89, 63.75, 54.67 และ 57.63 เปอร์เซ็นต์สังกะสี 57.00, 58.41, 25.12, 34.88 และ 15.29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากการดูดซับของขุยมะพร้าวที่ความเข้มข้นต่างๆ จะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับจะลดลง ปริมาณขุยมะพร้าว 1 กรัมสามารถดูดซับได้ดีที่ความเข้มข้นของโลหะหนัก 50 ppm ถ้าความเข้มข้นมากกว่านั้นประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง

อย่างเห็นได้ชัดสำหรับนิกเกิลและสังกะสี แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ ไม่แตกต่างกันมากที่ความเข้มข้นสูง ๆ ขุยมะพร้าวยังสามารถดูดซับทองแดงได้ดีพอสมควร

4.2.5 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

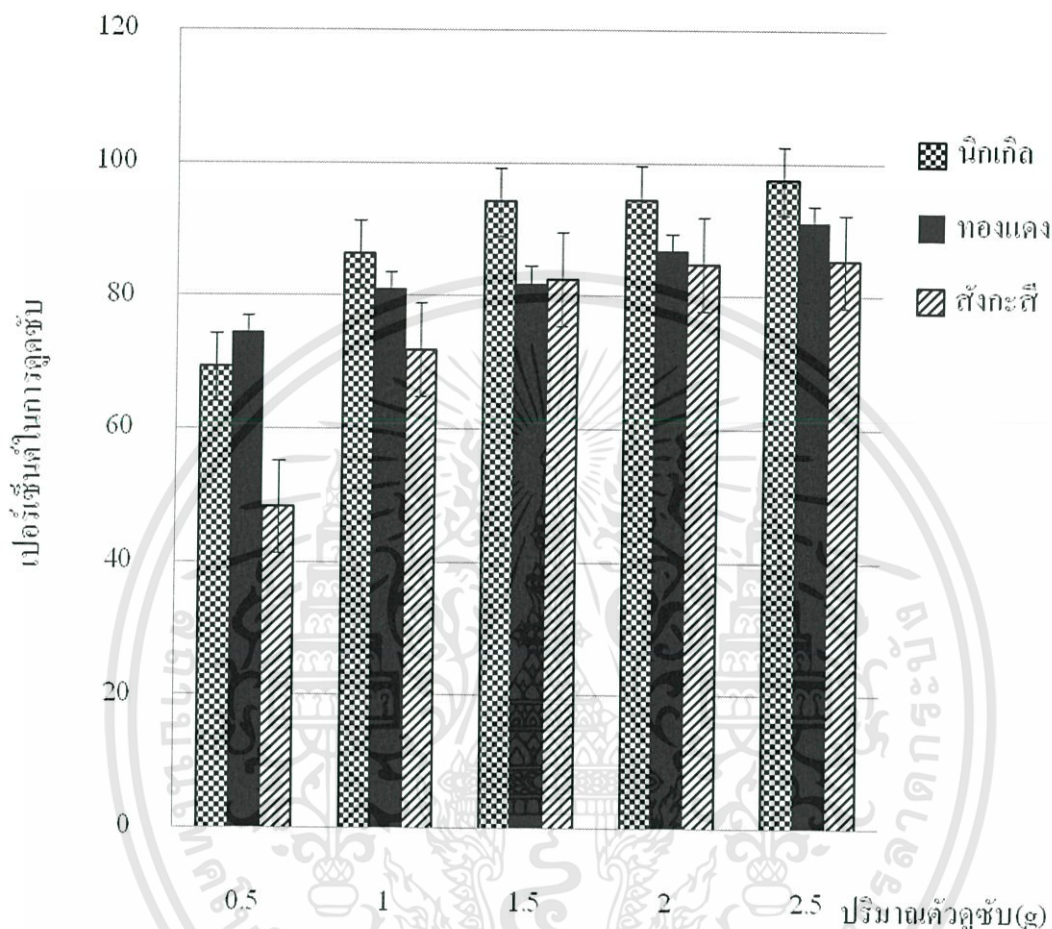
จากการศึกษาปริมาณของตัวดูดซับที่มีผลในการดูดซับทำได้โดยใช้สารละลายนิกเกิลทองแดงและสังกะสีสังเคราะห์ความเข้มข้น 50 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อปริมาณขุยมะพร้าว 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัมปรับค่าพีเอชและนำไปเขย่าตามเวลาที่เหมาะสม แล้ววิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีที่เหลืออยู่ ณ. ปริมาณตัวดูดซับที่แตกต่างกันสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีกับไอโซเทอรัมที่เหมาะสมในการดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบได้ดังรูป 4.15 ถึง 4.16 (จากตารางภาคผนวก ค.13 ถึง ค.15 และ ง.1 ถึง ง.3)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับปริมาณตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น นิกเกิล ทองแดงและสังกะสีถูกดูดซับได้ดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณขุยมะพร้าว 2.5 กรัม โดยดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีได้ 97.85, 93.45 และ 92.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับปริมาณตัวดูดซับ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการดูดซับของนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับขุยมะพร้าวแบบละเอียดเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ขุยมะพร้าวสามารถดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีได้ 97.56, 91.03 และ 85.45 เปอร์เซ็นต์

จากการดูดซับของขุยมะพร้าว จะพบว่าเมื่อเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นจะสามารถดูดซับ โลหะหนักได้มากขึ้น ดังนั้นปริมาณของตัวดูดซับจึงมีผลในการกำจัด โลหะหนักจากการทดลองขุยมะพร้าวแบบละเอียดดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีได้ดีที่สุดที่ปริมาณ 2.5 กรัมดูดซับได้

97.85, 93.45 และ 92.55 เปอร์เซ็นต์ ขุยมะพร้าวแบบหยาบดูดซับได้ 97.56, 91.03 และ 85.45 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 ค่า R^2 ไอโซเทอมแบบ Freundlich และ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

ประเภทโลหะหนัก	R^2 สมการ Freundlich	R^2 สมการLangmuir
นิกเกิล	0.9611	0.9580
ทองแดง	0.9402	0.7916
สังกะสี	0.9337	0.6970

ตารางที่ 4.2 ค่า R^2 ไอโซเทอมแบบ Freundlich และ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

ประเภทโลหะหนัก	R^2 สมการ Freundlich	R^2 สมการLangmuir
นิกเกิล	0.9593	0.9301
ทองแดง	0.8268	0.2320
สังกะสี	0.8960	0.6672

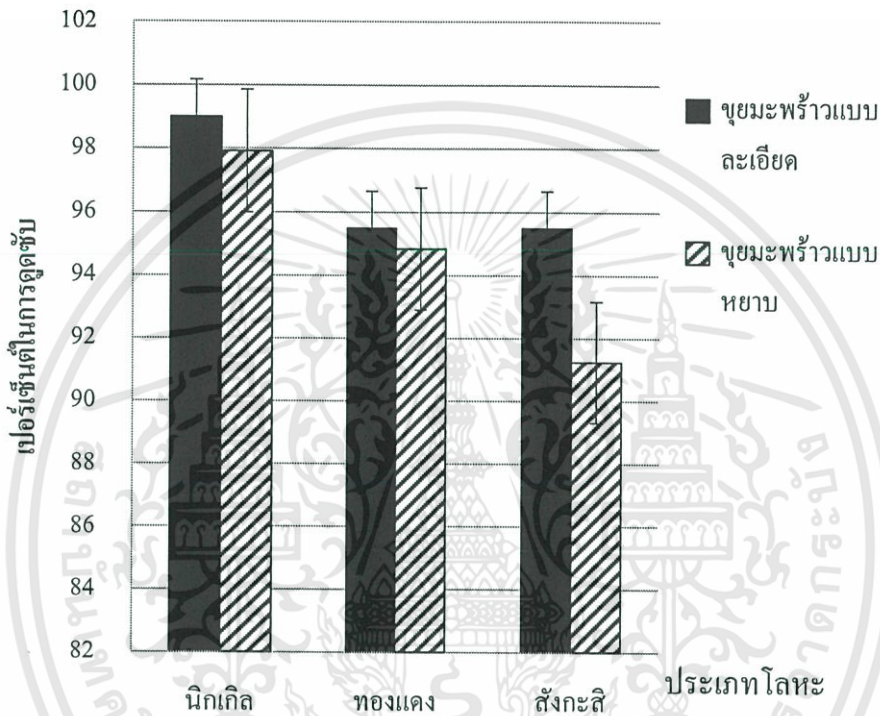
จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า ค่า R^2 ของการดูดซับโลหะหนักมีค่าเหมาะสมกับไอโซเทอรัมของ Freundlich มากกว่า ดังนั้น สรุปได้ว่าเป็นการดูดซับทางเคมี

จากสมการไอโซเทอรัม พบว่า สมการ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับนิกเกิลคือ $y = 0.5839x + 1.3118$ $R^2 = 0.9611$ ของทองแดงคือ $y = 2.2444x + 0.0436$ $R^2 = 0.9402$ ของสังกะสีคือ $y = 1.5461x + 0.3961$ $R^2 = 0.9337$ ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับนิกเกิลคือ $y = 0.5048x + 1.2184$ $R^2 = 0.9593$ ของทองแดงคือ $y = 1.269x + 0.3243$ $R^2 = 0.826$ ของสังกะสีคือ $y = 0.7581x + 0.6562$ $R^2 = 0.8960$ (จากตารางภาคผนวก ง.1 ถึง ง.6 และจากกราฟรูปที่ จ.1 ถึง จ.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสี

จากการทดลองเพื่อกำจัดนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัมทำการทดลองในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อโลหะแต่ละชนิดเพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทั้งสามชนิด สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.17 (จากตารางภาคผนวก ก.16)



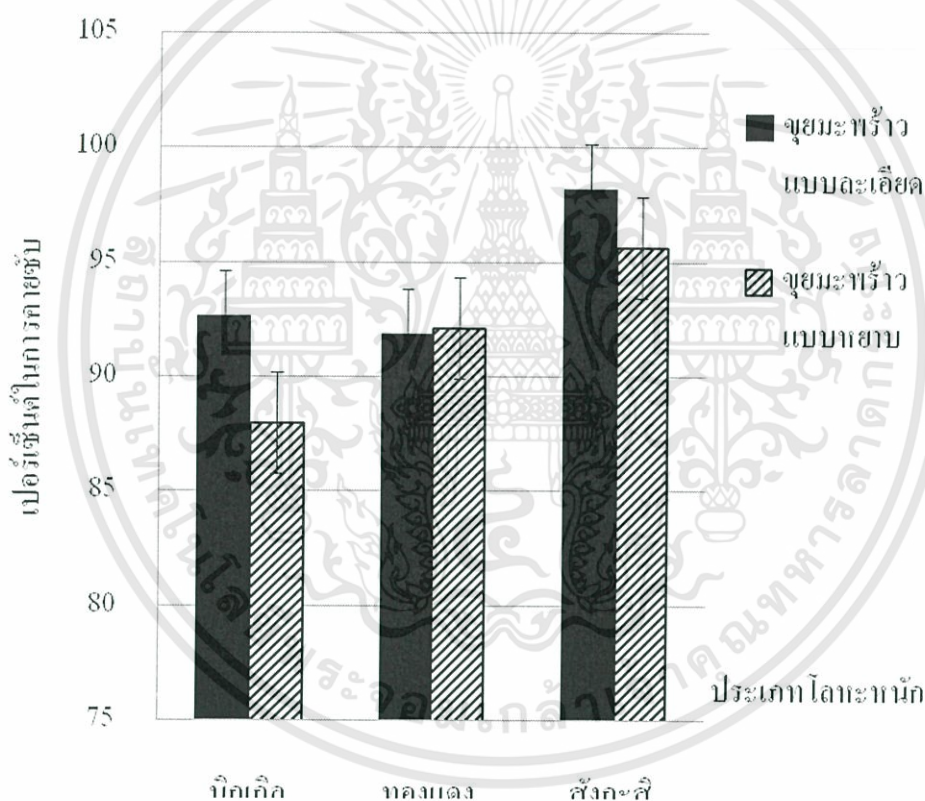
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ

จากกราฟจะพบว่า ณ. มวลขุยมะพร้าว 1 กรัมสามารถดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีได้ในปริมาณที่ใกล้เคียง โดยขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบสามารถดูดซับนิกเกิลได้มากที่สุด 99.00% และ 97.92% รองลงมาคือทองแดง 95.49% และ 94.84% และสังกะสี 95.49% และ 91.24% สาเหตุที่นิกเกิลสามารถถูกดูดซับได้ดีที่สุดเนื่องจากคุณสมบัติของขนาดอะตอมและรัศมีไอออนตามตารางธาตุ โดยนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจัดอยู่ในธาตุทรานซิชันคาบที่ 4 มีขนาดอะตอมและรัศมีไอออนเรียงตามลำดับคือ $Ni < Cu < Zn$ โดยนิกเกิลเป็นโลหะที่มีขนาดไอออนเล็กที่สุด รองลงมาคือ ทองแดงและสังกะสีตามลำดับ ทำให้นิกเกิลสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับได้มากกว่าและเร็วกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของอนุภาคมีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก ในการทดลองแต่ละการทดลองพบว่าขุยมะพร้าวแบบ

ละเอียดสามารถดูดซับได้ดีกว่าแบบหยาบ ดังนั้นความเป็นรูปพรุนหรือขนาดของอนุภาคมีผลต่อการดูดซับเช่นกัน

4.2.7 การคายซับ (desorption)

จากการทดลองเพื่อกำจัดนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัมทำการทดลองในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อโลหะแต่ละชนิดเพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทั้งสามชนิด สามารถนำขุยมะพร้าวที่ดูดซับโลหะหนักไว้จากการทดลองมาทำการทดลองคายซับย่อยโลหะหนักด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 M เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การคายซับ สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์การคายซับกับประเภทโลหะหนักได้ดังรูปที่ 4.18 (จากตารางภาคผนวก ค.17)



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคายซับ นิกเกิล ทองแดงและสังกะสีจากขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ

จากการทดลอง นำขุยมะพร้าวที่ดูดซับโลหะหนักไว้จากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพมาทำการทดลองคายซับย่อยโลหะหนัก พบว่าโลหะหนักสามารถย่อยกลับคืนมาได้ส่วนหนึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การคายซับจากขุยมะพร้าวแบบละเอียดย่อยนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีได้กลับคืนมา 92.61, 91.84 และ 98.19 เปอร์เซ็นต์ ขุยมะพร้าวแบบหยาบย่อยนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีได้ 88.01, 92.12 และ 95.64 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองมีโลหะหนักบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หายไปเนื่องจากอาจเกิดจากการระเหย การดูดซับภายในขวดและเนื่องจากในขั้นตอนการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองขุยมะพร้าวผ่านกระดาษกรองทำให้ขุยมะพร้าวบางส่วนติดอยู่กับกระดาษกรองและภาชนะบ้าง ดังนั้นปริมาณขุยมะพร้าวที่นำกลับมาชั่งมีปริมาณลดลงส่งผลให้ปริมาณโลหะหนักที่ได้จากการคายซับมีค่าลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงโดยใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ ซึ่งก็คือขุยมะพร้าว โดยแบ่งเป็น 2 ขนาด คือ แบบละเอียด (20 mesh) และแบบหยาบ (10 mesh) ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับและไอโซเทอมของการดูดซับของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมโลหะทั้ง 3 ชนิดของขุยมะพร้าวแบบละเอียดและแบบหยาบ คือ 40 นาที การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี คือ pH 7, 5, 6 ตามลำดับ ค่าอัตราของการปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทั้ง 3 ชนิด คือ 150 รอบ/นาที ในเรื่องการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับของขุยมะพร้าวจะลดลง ซึ่งขุยมะพร้าว 1 กรัมสามารถดูดซับได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 50 mg/l ในเรื่องการศึกษาค่าปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับของน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 50 ppm กับไอโซเทอรั่มการดูดซับ ของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี คือ 2.5 mg/L การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี พบว่าขุยมะพร้าวทั้งแบบละเอียดและแบบหยาบ สามารถดูดซับนิกเกิลได้ดีกว่า ทองแดงกับสังกะสี โดยขุยมะพร้าวแบบละเอียดดูดซับ นิกเกิล ทองแดง สังกะสีได้ 99.00% 95.49% 95.49% ตามลำดับ ส่วนขุยมะพร้าวแบบหยาบสามารถดูดซับนิกเกิล ทองแดง สังกะสีได้ 97.92% 94.84% 91.24%ตามลำดับ จากนั้นนำขุยมะพร้าวที่ได้ทำการดูดซับโลหะหนักไว้มาทำการคายซับพบว่า โลหะนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีของขุยมะพร้าว แบบละเอียดของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การคายซับ คือ 92.61, 91.84 และ 98.19 mg/l ตามลำดับ ส่วนขุยมะพร้าวแบบหยาบของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การคายซับถึง 88.01, 92.12 และ 95.64 ตามลำดับ การศึกษาไอโซเทอรั่มของการดูดซับ พบว่า สอดคล้องกับสมการ Freundlich

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของนิกิล ทองแดง และสังกะสี

5.2.2 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ โลหะหนัก โดยการสังเคราะห์น้ำเสียที่มีโลหะหนักรวมกันมากกว่า 1 ชนิด

5.2.3 ควรมีการศึกษาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุ Electronic Documents System (EDS)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม. อัปเดต 13 กุมภาพันธ์ 2539. ออนไลน์. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html. อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 8 ตุลาคม 2556.

เกศสุชา พูลคำ. 2537. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 10-39

จตุพร โหงวงษ์ และคณะ. 2545. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผักตบชวา โสน และบอน. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิเคิมีทรืพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฉวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล. 2539. การกำจัดตะกั่วและนิกเกิลจากน้ำเสียโดยใช้ซีดีเอช. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาระยะสุขศาสตร์) สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 1-76.

ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์ และคณะ. 2544. การดูดซับตะกั่วโดยพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากเปลือกหอยแครง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิเคิมีทรืพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชุติมา เสพธรรม. 2543. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยเถ้าลอยที่ผ่านการปรับปรุง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิเคิมีทรืพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นันทนา อิทธิพลโกวิท. 2538. การกำจัดโลหะหนักของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลโฟเอทิลและครอสส์ลิงค์-แซนเทคที่ทำจากผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 33-34.

ชนพล รวยรุ่งเรือง และคณะ. 2547. การใช้เส้นใยมะพร้าวเพื่อกำจัดโลหะสังกะสี. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิเคิมีทรืพยากร-เครื่องมือวิเคราะห์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 3-14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรีชา เกียรติกระจาย. 2528. เคมีของเนื้อไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลลิตา แสงอาทิตย์. 2554. การดูดซับยาปฏิชีวนะ **Norflloxacin** โดยถ่านแกลบที่ pH 5 – 8. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วราภรณ์ ผ่องแผ้ว และสุรัสวดี เจตน์เกษตรกรรม. 2545. การกำจัดทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโดยใช้ขยะเปลือกไข่. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 9-27.

มูลนิธิวิกิมีเดีย. วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. อัปเดต 9 มีนาคม 2556 เวลา 05:34 UTC. สารานุกรมออนไลน์. เข้าถึงได้จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/นิกเกิล>. อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 8 ตุลาคม 2556.

สำนักงานคลังจังหวัดภูเก็ต. อัปเดต 7 สิงหาคม 2013 เวลา 14:30 น.ออนไลน์. เข้าถึงได้จาก <http://www.klangphuket.org>. อินเทอร์เน็ต. เข้าถึงเมื่อ 8 ตุลาคม 2556.

หฤทัย ศิระวงษ์. 2547. การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับประจุโลหะของกากมันสำปะหลังโดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟิเคชันกับกรดซัลฟูริก. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2547.

Bhargava D.s, Cputa M.S. and varshhney B.S. 1985. Use of sawdust for the Adsorption of Heavy Metals. **Asian Environmental**. หน้า 29-37.

Freitas, H. 2000. Removal of toxic Metals from Solution by Leaf, Stem and Root Phytomass of *Quercus ilex* L. (holly oak). **Environmental Pollution**. หน้า 110: 277-283

Hoffland Environmental Inc. 2012. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.quarkology.com/12-chemistry/94-hydroxide-precipitation>. เข้าถึงเมื่อ 1 ตุลาคม 2556.

Krishnan S.S, Canalla A. and Jervis R.E. 1988. Wastewater Treatment for Heavy Metal Toxins Using Plant and Hair Absorbent. **The Science of The Total Environment**. 68. 267-273.

Liberto de Pablo, M. Lourdes Chavez, Mohamed Abatal. 2011. Adsorption of heavy metals in acid to alkaline environments by montmorillonite and Ca-montmorillonite. **Chemical engineering journal** 171(2011). 1276-1286.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Okieman F.E., and Onyenkpa V.U. 1989. Removal of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions with Melon Seed Husks. **Biological Wastes**. 29: 11-16.

Randall J.M, Hautala E, Waiss AC. Jr ,Tschernitz J.L. 1976. Modified Batk as Scavengers for Heavy Metal Ion .**Forest Prod.J**. 26(8) : 46-50.

Tan WT , and Rhan RM. 1988. Removal of lead, Cadmium, and Zinc by Waste Tea leaves. **Environmental Technology Letter**.9 : 1223-1232.

Zhu, B., Fan, T. and Zhang. D., 2008. **Adsorption of copper ions from aqueous solution by citric acid modified soybean straw**. 153: 300-308.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

(Atomic Absorption Spectroscopy)

เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่ได้รับความนิยมและใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความถูกต้องและความไวในการทดสอบสูง และใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้มากกว่า 60 ธาตุ (แม้น และ อมร, 2535)

1. หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกันด้วย เช่น อะตอมของแคดเมียมดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 228.8 นาโนเมตร อะตอมของปรอทดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร แสงที่มีความยาวคลื่นดังกล่าวจะมีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมแคดเมียมและปรอทเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสภาวะพื้นไปสู่สภาวะเร้า ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระนั้นต้องใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือไฟฟ้า เป็นต้น

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี จะอาศัยหลักการวัดปริมาณแสงที่ธาตุดูดกลืนเข้าไป เพื่อทำให้อะตอมอิสระที่อยู่ในสภาวะพื้นขึ้นไปอยู่ในสภาวะเร้าซึ่งปริมาณแสงที่ดูดกลืนเข้าไปจะแปรตามความเข้มข้นของสาร

2. องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ 5 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ ก.1

2.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source) ส่วนใหญ่เป็น hollow cathode lamp (HCL) และ electrodeless discharge lamp (EDL) ซึ่งมีใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น

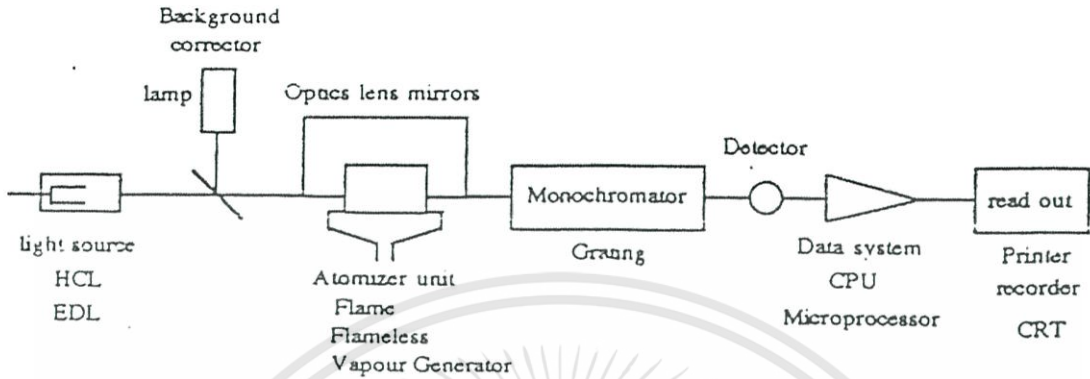
2.2 ส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ (atomizer unit) เป็นส่วนที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟหรือไฟฟ้า เป็นต้น

2.3 ส่วนแยกแสง (monochromator) เป็นส่วนที่ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการ อาจเป็นแผ่นกรองแสง (filter) เกรตติง (grating) หรือปริซึม (prism)

2.4 ส่วนวัดสัญญาณ (detector) ส่วนใหญ่เป็นหลอดโฟโตมัลติพลีเออร์ (photomultiplier tube) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปแบบของพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ส่วนประมวลผลและอ่านผล (data system and readout unit) ทำหน้าที่แปลสัญญาณที่ได้รับจากส่วนวัดสัญญาณให้เป็นข้อมูลสื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจ



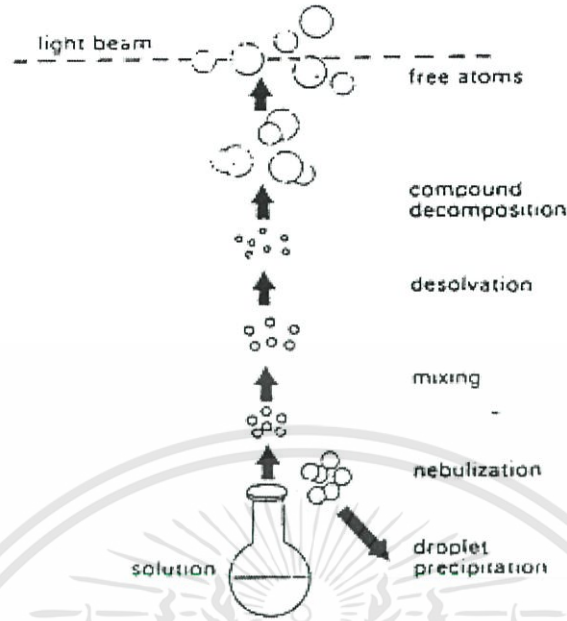
รูปที่ ก.1 องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
(แมน และอมร, 2535)

3. เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์วิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีสามารถทำได้หลายวิธี คือ

3.1. flame atomization technique ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (flame) ซึ่งกระบวนการเกิดแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ ก.2

- 3.1.1 nebulization การเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ ด้วย nebulizer
- 3.1.2 droplet precipitation ละอองเล็กๆ รวมตัวกันแล้วไหลออกทางท่อน้ำทิ้ง
- 3.1.3 mixing ละอองเล็กๆ ของสารละลายผสมกับก๊าซเชื้อเพลิง (fuel) และออกซิแดนท์ (oxidant) ใน spray chamber ของ nebulizer
- 3.1.4 desolvation ตัวทำละลายถูกกำจัดออกไป เกิดเป็นสารประกอบเล็กๆ ของสารประกอบ
- 3.1.5 compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ เป็น โมเลกุล และเป็นอะตอมอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 กระบวนการเกิดอะตอมอิสระในเปลวไฟ (แม้น และ อมร, 2535)

3.2. flameless technique หรือ non-flame atomization technique ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยจะตั้งโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาของการเผาให้เหมาะสมสำหรับธาตุแต่ละชนิด

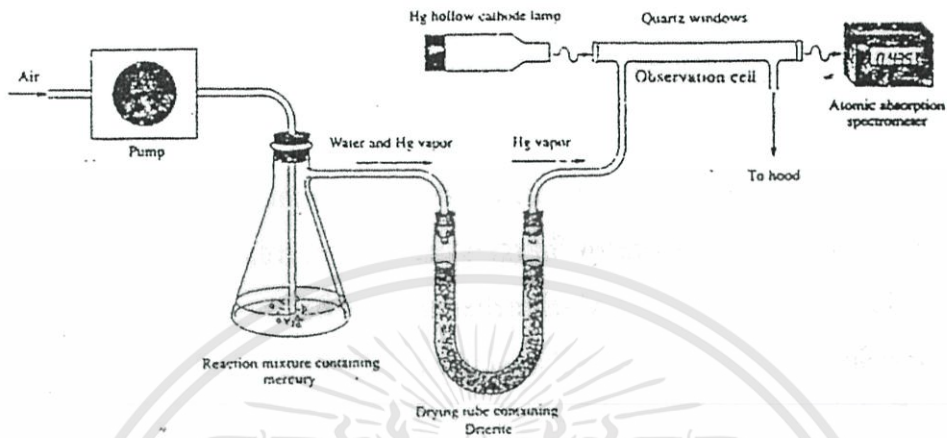
3.3. hydride generation technique การวิเคราะห์ธาตุบางชนิด เช่น As และ Se โดยวิธีดูดกลืนคลื่นแสงแบบเปลวไฟจะมีขีดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (detection limit) อยู่ในระดับ 1 ppm ซึ่งยังไม่ต่ำเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ธาตุเหล่านี้ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เพราะธาตุเหล่านี้เป็นพิษในระดับต่ำ จึงพัฒนาวิธีการตรวจวัดให้มีสภาพไวสูงขึ้นโดยการทำให้สารที่สนใจกลายเป็นโลหะไฮไดรด์ที่สามารถระเหยได้ ณ อุณหภูมิห้อง แล้วไล่ไอของโลหะไฮไดรด์ที่เกิดขึ้นเข้าไปในหลอดที่วางอยู่บนเปลวไฟ เมื่อให้ความร้อนไอของไฮไดรด์จะสลายตัวเป็นอะตอมของโลหะ

3.4. cold vapor technique เหมาะกับธาตุที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ เช่น Hg หลักการของวิธีนี้คือ ไอออนของปรอทจะถูกรีดิวซ์ด้วยสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ (stannous chloride ; SnCl₂) ซึ่ง Hg²⁺ จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น Hg⁰ ดังสมการ



ไอปรอทที่เกิดขึ้นจะถูกก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน ไล่เข้าไปในเซลล์แล้วเกิดการดูดกลืนคลื่นแสง การมีไอน้ำในเซลล์จะทำให้เกิดการกระเจิงแสง ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไม่ถูกต้อง ซึ่งแก้ไข

ได้โดยให้อิปรอทผ่านสารดูดความชื้นในปัจจุบันมีระบบ circular mode ทำให้อิปรอทหมุนเวียนอยู่ในระบบที่ทำการวัด หลังจากวัดเสร็จแล้วจึงไล่อิปรอทลงไปในช่วงดักจับปรอท



รูปที่ ก.3 เครื่องมือวิเคราะห์แบบ cold vapor atomic absorption ใช้หาปริมาณปรอท (แมน และ อมร, 2535)

4. สิ่งรบกวนต่อการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีนั้นอาจเกิดข้อผิดพลาดได้จากสิ่งรบกวน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 สาเหตุดังนี้ คือ

2.4.1. สิ่งรบกวนทางกายภาพ (physical effects) เป็นการรบกวนเนื่องจากสมบัติของสารละลายที่วิเคราะห์ เช่น ความหนืด แรงตึงผิว ความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งจะไม่มีผลต่ออัตราการไหลของสารละลายเข้าสู่ nebulizer

2.4.2. สิ่งรบกวนทางเคมี (chemical effects) เกิดจากสมบัติทางเคมีของสารที่นำมาวิเคราะห์ เช่น สมบัติการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระเมื่อมีสารอื่นปะปนอยู่ รวมทั้งพีเอชของสารละลายที่ทำการวิเคราะห์

2.4.3. การรบกวนเนื่องจากสเปกตรอล (spectral interferences) เกิดในกรณีที่สารตัวอย่างมีธาตุอื่นปะปนอยู่มาก ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงและให้แบคกราวด์เกิดขึ้นเช่นเดียวกับธาตุที่จะวิเคราะห์

2.4.4. background absorption หรือ non-specific absorption effects ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเมื่อใช้เปลวไฟที่อุณหภูมิต่ำๆ จึงมีสารที่อยู่ในรูปของโมเลกุลเหลืออยู่ในเปลวไฟ เช่น โมเลกุลของสารน้ำและของเหลวซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงรังสีเหนือม่วง (UV) ได้ดี นอกจากนี้โมเลกุลของสารยังสามารถทำให้แสงจากหลอดฮาโลแคโทด (hollow cathode lamp) เกิดการกระเจิงได้ (scattering) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539)

ดัชนีคุณภาพ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	-ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. -น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลดสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล ได้ไม่เกิน 5,000 มก.ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 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 ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539) (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว แยกหาน้ำหนักของน้ำมันและ ไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกัน หรือกำจัดศัตรูพืช หรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่ กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่ อุณหภูมิ 20 °C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่ อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539) (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกันแต่ ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
2. โครเมียมชนิด เฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3. โครเมียมชนิด ไตรวาเลนต์ (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.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539) (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour Technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 การหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	เวลา (min)	ความเข้มข้นของ Ni ²⁺ ที่เหลือ (mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	20	0.079	0.072	0.074	1.224	0.066	93.87	0.004
	40	0.072	0.074	0.076	1.224	0.055	93.95	0.002
	60	0.082	0.087	0.087	1.151	0.053	92.62	0.003
แบบหยาบ	20	0.093	0.097	0.093	1.224	0.075	92.32	0.002
	40	0.084	0.080	0.084	1.224	0.064	93.22	0.002
	60	0.089	0.094	0.094	1.151	0.071	92.09	0.003

ตารางที่ ค.2 การหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	เวลา (min)	ความเข้มข้นของ Cu ²⁺ ที่เหลือ (mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	20	0.071	0.077	0.068	1.041	0.072	93.08	0.005
	40	0.075	0.068	0.069	1.063	0.071	93.32	0.004
	60	0.082	0.102	0.071	1.038	0.085	91.81	0.016
แบบหยาบ	20	0.076	0.080	0.081	1.041	0.079	92.41	0.003
	40	0.081	0.072	0.075	1.038	0.076	92.68	0.006
	60	0.080	0.081	0.074	1.038	0.078	92.49	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 การหาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	เวลา (min)	ความเข้มข้นของ Zn^{2+} ที่เหลือ (mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	20	0.097	0.050	0.051	0.970	0.066	93.20	0.027
	40	0.067	0.049	0.051	0.985	0.055	94.47	0.010
	60	0.062	0.051	0.047	0.904	0.053	93.91	0.008
แบบหยาบ	20	0.108	0.060	0.059	0.970	0.075	92.27	0.028
	40	0.066	0.071	0.056	0.985	0.064	93.32	0.008
	60	0.079	0.080	0.055	0.904	0.071	92.15	0.014

ตารางที่ ค.4 การหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	pH	ความเข้มข้นของ Ni^{2+} ที่เหลือ (mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	4	0.067	0.080	0.070	0.825	0.072	91.27	0.007
	5	0.043	0.031	0.054	0.848	0.043	94.93	0.012
	6	0.065	0.041	0.038	0.855	0.048	94.39	0.015
	7	0.012	0.022	0.019	0.861	0.018	97.90	0.005
	8	0.024	0.025	0.017	0.855	0.022	97.42	0.004
แบบหยาบ	4	0.387	0.145	0.132	0.825	0.221	73.21	0.144
	5	0.129	0.345	0.044	0.861	0.173	79.30	0.155
	6	0.129	0.345	0.044	0.861	0.173	79.91	0.155
	7	0.380	0.099	0.030	0.848	0.170	79.95	0.185
	8	0.320	0.137	0.067	0.855	0.175	79.53	0.131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 การหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ
ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	pH	ความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่เหลือ (mg/l)			จุด ควมคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	4	0.043	0.047	0.046	0.910	0.045	95.05	0.002
	5	0.008	0.006	0.007	1.044	0.007	99.33	0.001
	6	0.010	0.015	0.014	1.041	0.013	98.75	0.003
	7	0.014	0.015	0.013	0.978	0.014	98.57	0.001
	8	0.069	0.054	0.050	1.022	0.057	94.42	0.010
แบบหยาบ	4	0.051	0.053	0.054	0.910	0.052	94.29	0.002
	5	0.041	0.043	0.045	1.044	0.043	95.88	0.002
	6	0.041	0.044	0.050	1.041	0.045	95.68	0.005
	7	0.052	0.052	0.052	0.978	0.052	94.68	0.000
	8	0.054	0.055	0.056	1.022	0.055	94.62	0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 การหาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ
ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	pH	ความเข้มข้นของ Zn^{2+} ที่เหลือ (mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	4	0.024	0.032	0.025	0.942	0.027	97.13	0.004
	5	0.024	0.027	0.024	0.956	0.025	97.38	0.002
	6	0.013	0.013	0.013	0.962	0.013	98.65	0.000
	7	0.018	0.015	0.014	0.909	0.015	98.35	0.002
	8	0.015	0.007	0.021	0.952	0.014	98.53	0.007
แบบหยาบ	4	0.054	0.053	0.047	0.942	0.051	94.59	0.004
	5	0.047	0.037	0.053	0.956	0.045	95.29	0.008
	6	0.027	0.033	0.042	0.962	0.034	96.47	0.008
	7	0.045	0.031	0.043	0.909	0.039	95.71	0.008
	8	0.047	0.041	0.042	0.952	0.043	95.48	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 การหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับอัตราการปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	รอบปั่น กวน (รอบ/ นาที)	ความเข้มข้นของ Ni ²⁺ ที่เหลือ (mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบ ละเอียด	60	0.058	0.048	0.055	1.112	0.053	95.23	0.185
	90	0.037	0.037	0.025	1.097	0.033	96.99	0.005
	120	0.020	0.012	0.010	1.088	0.014	98.71	0.007
	150	0.003	0.006	0.005	1.097	0.004	99.64	0.005
แบบ หยาบ	60	0.108	0.098	0.085	1.112	0.097	91.28	0.002
	90	0.059	0.067	0.061	1.097	0.062	94.35	0.012
	120	0.068	0.070	0.047	1.088	0.061	94.39	0.004
	150	0.058	0.062	0.062	1.097	0.060	94.53	0.013

ตารางที่ ค.8 การหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับอัตราการปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	รอบปั่น กวน (รอบ/ นาที)	ความเข้มข้นของ Cu ²⁺ ที่เหลือ (mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบ ละเอียด	60	0.047	0.048	0.050	1.046	0.048	95.41	0.002
	90	0.040	0.042	0.043	1.026	0.042	95.91	0.002
	120	0.044	0.039	0.036	1.020	0.040	96.08	0.004
	150	0.022	0.025	0.026	1.023	0.024	97.65	0.002
แบบ หยาบ	60	0.052	0.066	0.074	1.046	0.064	93.88	0.011
	90	0.065	0.041	0.041	1.026	0.049	95.22	0.014
	120	0.048	0.050	0.047	1.020	0.048	95.29	0.002
	150	0.036	0.039	0.041	1.023	0.039	96.19	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 การหาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับอัตราการปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	รอบปั่น กวน (รอบ/ นาที)	ความเข้มข้นของ Zn^{2+} ที่เหลือ (mg/l)			จุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบ ละเอียด	60	0.047	0.024	0.023	0.978	0.031	96.83	0.014
	90	0.033	0.016	0.020	0.962	0.023	97.61	0.009
	120	0.026	0.019	0.022	0.966	0.022	97.72	0.004
	150	0.020	0.022	0.019	0.980	0.020	97.96	0.002
แบบ หยาบ	60	0.070	0.072	0.056	0.978	0.066	93.25	0.009
	90	0.052	0.067	0.044	0.962	0.054	94.39	0.012
	120	0.021	0.030	0.043	0.966	0.031	96.79	0.011
	150	0.027	0.017	0.025	0.980	0.023	97.65	0.005

ตารางที่ ค.10 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับ แสดงปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับกับค่าสารละลายนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ ค่าเฉลี่ย เบอร์เซนต์ในการดูดซับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ความ เข้มข้น สารละลาย (mg/l)	ความเข้มข้นของ Ni ²⁺ ที่ เหลือ(mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่				
		1	2	3				
แบบ ละเอียด	50	1.965	2.398	2.408	58.40	2.257	96.14	0.253
	100	29.70	24.30	30.90	116.60	28.30	75.73	3.516
	150	48.80	65.60	56.10	153.80	56.83	63.06	8.424
	200	129.60	100.60	108.40	226.30	112.87	50.12	15.007
	250	131.20	157.20	176.10	246.10	154.83	37.09	22.543
แบบหยาบ	50	14.10	7.350	15.70	58.40	12.38	78.80	4.432
	100	33.50	53.20	47.70	116.60	44.80	61.58	10.165
	150	89.90	97.20	100.20	153.80	95.77	37.75	5.297
	200	145.10	154.60	109.20	226.30	136.30	39.77	23.945
	250	183.20	180.40	213.00	246.10	192.20	21.90	18.068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับ แสดงปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับกับค่าสารละลายทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ ค่าเฉลี่ย เบอร์เร็นต์ในการดูดซับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ความ เข้มข้น สารละลาย (mg/l)	ความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่ เหลือ(mg/l)			ชุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่				
		1	2	3				
แบบ ละเอียด	50	1.50	0.325	5.75	53.9	2.525	95.32	2.854
	100	7.75	12.50	14.25	106.7	11.50	89.22	3.363
	150	15.25	37.00	57.00	160.00	36.41	77.24	20.881
	200	52.00	86.50	47.50	204.80	62.00	69.73	21.337
	250	84.50	64.00	76.75	259.00	75.08	71.01	10.351
แบบหยาบ	50	21.50	18.50	15.75	53.90	18.58	65.53	2.876
	100	29.00	50.25	26.75	106.70	35.33	66.89	12.967
	150	55.50	61.25	57.25	160.00	58.00	63.75	2.947
	200	92.25	102.25	84.00	204.80	92.83	54.67	9.139
	250	107.25	118.00	104.00	259.00	109.75	57.63	7.327

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับ แสดงการหาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับกับค่าสารละลายสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซนต์ในการดูดซับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุมมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ความ เข้มข้น สารละลาย (mg/l)	ความเข้มข้นของ Zn^{2+} ที่ เหลือ(mg/l)			จุด ควบคู่	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่				
		1	2	3				
แบบ ละเอียด	50	6.80	10.00	7.60	57.00	8.13	85.74	1.665
	100	39.20	28.80	27.20	118.60	31.73	73.25	6.516
	150	70.20	66.40	50.60	149.80	62.40	58.34	10.394
	200	98.50	100.33	104.33	226.00	101.05	55.29	2.982
	250	168.00	182.75	170.00	243.70	173.58	28.77	8.001
แบบหยาบ	50	27.50	23.75	22.25	57.00	24.50	57.00	2.704
	100	62.25	69.25	56.50	118.60	49.33	58.41	6.385
	150	93.00	116.50	127.00	149.80	112.17	25.12	17.409
	200	144.50	161.50	135.50	226.00	147.16	34.88	13.204
	250	198.50	209.25	211.50	243.70	206.42	15.29	24.130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 ศึกษาปริมาณนิเกิลที่เหลือจากการดูดซับน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 50 ppm กับไอโซเทอม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ความ เข้มข้น สารละลาย (mg/l)	ความเข้มข้นของ Ni ²⁺ ที่ เหลือ(mg/l)			จุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่				
		1	2	3				
แบบ ละเอียด	0.5	9.300	13.700	13.650	51.20	12.22	76.13	2.526
	1.0	2.478	1.823	3.931	51.20	2.74	94.65	1.079
	1.5	1.701	1.339	2.189	51.20	1.74	96.60	0.427
	2.0	1.460	1.145	0.897	51.20	1.17	97.71	0.282
	2.5	1.224	1.099	0.973	51.20	1.10	97.85	0.126
แบบหยาบ	0.5	13.250	18.00	15.750	51.20	15.67	69.39	2.376
	1.0	8.250	6.875	5.750	51.20	6.96	86.41	1.252
	1.5	2.000	1.625	5.125	51.20	2.92	94.30	1.922
	2.0	2.256	3.833	2.282	51.20	2.79	94.55	0.903
	2.5	1.250	1.875	0.625	51.20	1.25	97.56	0.625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 ศึกษาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 50 ppm กับไอโซทอม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ความ เข้มข้น สารละลาย (mg/l)	ความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่ เหลือ(mg/l)			จุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่				
		1	2	3				
แบบ ละเอียด	0.5	6.625	4.625	9.625	52.5	6.958	86.75	2.517
	1.0	4.750	4.875	4.625	52.5	4.750	90.95	0.125
	1.5	6.375	4.000	3.750	52.5	4.708	91.03	1.449
	2.0	4.000	4.125	4.000	52.5	4.042	92.30	0.072
	2.5	4.200	3.200	2.900	52.5	3.433	93.46	0.680
แบบหยาบ	0.5	11.251	14.125	14.875	52.5	13.417	74.44	1.913
	1.0	8.375	9.375	12.250	52.5	10.000	80.95	2.012
	1.5	9.375	9.125	10.125	52.5	9.542	81.82	0.520
	2.0	9.750	10.375	10.000	52.5	6.958	86.75	0.315
	2.5	4.400	4.700	4.300	52.5	4.708	91.03	0.208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 ศึกษาปริมาณสังกะสีที่เหลือจากการดูดซับน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 50 ppm กับไอโซเทอม ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ความ เข้มข้น สารละลาย (mg/l)	ความเข้มข้นของ Zn^{2+} ที่ เหลือ(mg/l)			จุด ควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	SD
		ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่				
		1	2	3				
แบบ ละเอียด	0.5	5.250	10.250	10.25	49.25	8.583	82.57	2.887
	1.0	10.500	6.000	5.500	49.25	7.333	85.11	2.754
	1.5	4.250	5.875	4.625	49.25	4.917	90.02	0.851
	2.0	5.250	3.750	3.375	49.25	4.125	91.62	0.992
	2.5	5.375	2.250	3.375	49.25	3.667	92.55	1.583
แบบหยาบ	0.5	23.000	25.250	28.000	49.25	25.417	48.39	2.504
	1.0	14.500	12.625	14.250	49.25	13.792	71.99	1.018
	1.5	6.875	7.000	11.75	49.25	8.542	82.66	2.779
	2.0	8.000	8.250	6.000	49.25	7.417	84.94	1.233
	2.5	6.500	7.625	7.375	49.25	7.167	85.45	0.591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก แสดงการหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือจากการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าว ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของตัวดูดซับ	โลหะ	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ(mg/l)			ชุดควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	Ni ²⁺	0.008	0.008	0.018	1.107	0.011	99.00	0.006
	Cu ²⁺	0.056	0.046	0.041	1.065	0.048	95.49	0.008
	Zn ²⁺	0.031	0.041	0.031	0.754	0.034	95.49	0.006
แบบหยาบ	Ni ²⁺	0.023	0.023	0.024	1.107	0.023	97.92	0.0006
	Cu ²⁺	0.066	0.050	0.049	1.065	0.055	94.84	0.010
	Zn ²⁺	0.072	0.040	0.086	0.754	0.066	91.24	0.024

ตารางที่ ค.17 การหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือจากการคายซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดงและสังกะสีของขุยมะพร้าว ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขุยมะพร้าว

ชนิดของตัวดูดซับ	โลหะ	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ(mg/l)			ชุดควบคุม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์การคายซับ	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
แบบละเอียด	Ni ²⁺	1.048	1.037	1.013	0.018	1.033	92.61	0.018
	Cu ²⁺	0.948	0.967	0.979	0.030	0.964	91.84	0.016
	Zn ²⁺	0.713	0.705	0.713	0.003	0.710	98.19	0.005
แบบหยาบ	Ni ²⁺	0.962	0.975	0.979	0.018	0.972	88.01	0.008
	Cu ²⁺	0.935	0.917	0.947	0.030	0.965	92.12	0.016
	Zn ²⁺	0.664	0.684	0.635	0.003	0.661	95.64	0.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงการหาค่าไอโซเทอร์ม

ตารางที่ ง.1 การหาไอโซเทอมแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวกับนิกเกิล

ชนิดของตัวดูดซับ	m (g)	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	X (mg/l)	X/m	Log X/M	Log C _e
แบบละเอียด	0.5004	50	12.22	37.78	75.4996	1.8779	1.0871
	1.0001	50	2.74	47.26	47.2553	1.6745	0.4376
	1.5002	50	1.74	48.26	32.1690	1.5074	0.2405
	2.0002	50	1.17	48.83	24.4126	1.3876	0.0682
	2.5003	50	1.10	48.90	19.5577	1.2913	0.0414
แบบหยาบ	0.5005	50	15.67	34.33	68.5914	1.8363	1.1951
	1.0003	50	6.96	43.04	43.0271	1.6337	0.8426
	1.5004	50	2.92	47.08	31.3783	1.4966	0.4654
	2.0006	50	2.79	47.21	23.5979	1.3729	0.4456
	2.5004	50	1.25	48.75	19.4969	1.2899	0.0970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวกับนิกเกิล

ชนิดของ ตัวดูดซับ	m (g)	C_0 (g)	C_e (mg/l)	C_e (g)	X (g)	$C_s = x/m$	C_e / C_s (mg/l)
แบบ ละเอียด	0.5004	0.005	12.22	0.00122	0.00378	0.00755	1618.54
	1.0001	0.005	2.74	0.00027	0.00473	0.00473	579.28
	1.5002	0.005	1.74	0.00017	0.00483	0.00322	540.37
	2.0002	0.005	1.17	0.00012	0.00488	0.00244	479.51
	2.5003	0.005	1.10	0.00011	0.00489	0.00196	561.22
แบบ หยาบ	0.5005	0.005	15.67	0.00157	0.00343	0.00685	2287.59
	1.0003	0.005	6.96	0.00070	0.00430	0.00430	1618.61
	1.5004	0.005	2.92	0.00029	0.00471	0.00314	929.94
	2.0006	0.005	2.79	0.00028	0.00472	0.00236	1182.20
	2.5004	0.005	1.25	0.00013	0.00488	0.00195	641.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การหาไอโซเทอมแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวกับทองแดง

ชนิดของตัวดูดซับ	m (g)	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	X (mg/l)	X/m	Log X/M	Log Ce
แบบละเอียด	0.5001	50	6.958	43.04	86.0627	1.9348	0.8425
	1.0006	50	4.750	45.25	45.2229	1.6554	0.6767
	1.5005	50	4.708	45.29	30.1833	1.4798	0.6728
	2.0001	50	4.042	45.96	22.9789	1.3612	0.6066
	2.5001	50	3.433	46.57	18.6273	1.2701	0.5357
แบบหยาบ	0.5008	50	13.417	36.58	73.0431	1.8636	1.1277
	1.0001	50	10.000	40.00	39.9960	1.6020	1.0000
	1.5002	50	9.542	40.46	26.9697	1.4309	0.9796
	2.0005	50	6.958	43.04	21.5146	1.3327	0.8425
	2.5001	50	4.708	45.29	18.1153	1.2580	0.6728

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวกับทองแดง

ชนิดของ ตัวดูดซับ	m (g)	C_0 (g)	C_e (mg/l)	C_e (g)	X (g)	$C_s = x/m$	C_e / C_s (mg/l)
แบบ ละเอียด	0.5001	0.005	6.958	0.00070	0.00430	0.00859	810.01
	1.0006	0.005	4.750	0.00048	0.00452	0.00452	1050.89
	1.5005	0.005	4.708	0.00047	0.00453	0.00302	1558.94
	2.0001	0.005	4.042	0.00040	0.00460	0.00230	1757.39
	2.5001	0.005	3.433	0.00034	0.00466	0.00186	1845.70
แบบ หยาบ	0.5008	0.005	13.417	0.00134	0.00366	0.00731	1835.43
	1.0001	0.005	10.000	0.00100	0.00400	0.00400	2500.00
	1.5002	0.005	9.542	0.00095	0.00405	0.00270	3534.07
	2.0005	0.005	6.958	0.00070	0.00430	0.00215	3236.28
	2.5001	0.005	4.708	0.00047	0.00453	0.00181	2601.11

ตารางที่ ๓.5 การหาไอโซเทอมแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวกับสังกะสี

ชนิดของตัวดูดซับ	m (g)	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	X (mg/l)	X/m	Log X/M	Log Ce
แบบละเอียด	0.5005	50	8.583	41.42	82.7572	1.9178	0.9336
	1.0000	50	7.333	42.67	42.6700	1.6301	0.8653
	1.5002	50	4.917	45.08	30.0493	1.4778	0.6910
	2.0004	50	4.125	45.88	22.9354	1.3605	0.6154
	2.5008	50	3.667	46.33	18.5261	1.2678	0.5643
แบบหยาบ	0.5001	50	25.417	24.58	49.1502	1.6915	1.4051
	1.0005	50	13.792	36.21	36.1919	1.5586	1.1396
	1.5004	50	8.542	41.46	27.6326	1.4414	0.9316
	2.0002	50	7.417	41.42	20.7079	1.3161	0.8902
	2.5002	50	7.167	42.67	17.0666	1.2320	0.8553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

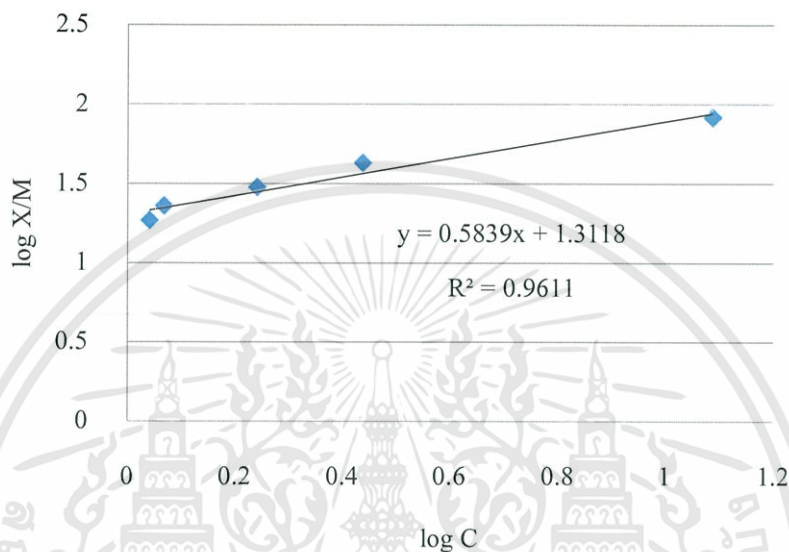
ตารางที่ ๖.6 การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวกับสังกะสี

ชนิดของ ตัวดูดซับ	m (g)	C_0 (g)	C_e (mg/l)	C_e (g)	X (g)	$C_s = x/m$	C_e / C_s (mg/l)
แบบ ละเอียด	0.5005	0.005	8.583	0.00086	0.00414	0.00827	1037.848
	1.0000	0.005	7.333	0.00073	0.00427	0.00427	1717.33
	1.5002	0.005	4.917	0.00049	0.00451	0.00301	1633.555
	2.0004	0.005	4.125	0.00041	0.00459	0.00230	1793.478
	2.5008	0.005	3.667	0.00037	0.00463	0.00185	1982.162
แบบ หยาบ	0.5001	0.005	25.417	0.00254	0.00246	0.00492	5166.057
	1.0005	0.005	13.792	0.00138	0.00362	0.00362	3809.945
	1.5004	0.005	8.542	0.00085	0.00415	0.00277	3083.755
	2.0002	0.005	7.417	0.00074	0.00426	0.00213	3482.160
	2.5002	0.005	7.167	0.00072	0.00428	0.00171	4191.230

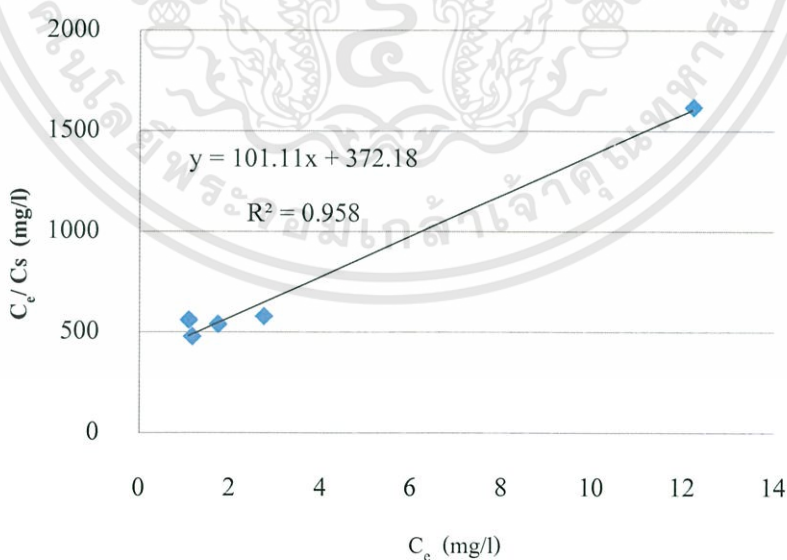
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

กราฟแสดงการหาค่าไอโซเทอร์ม

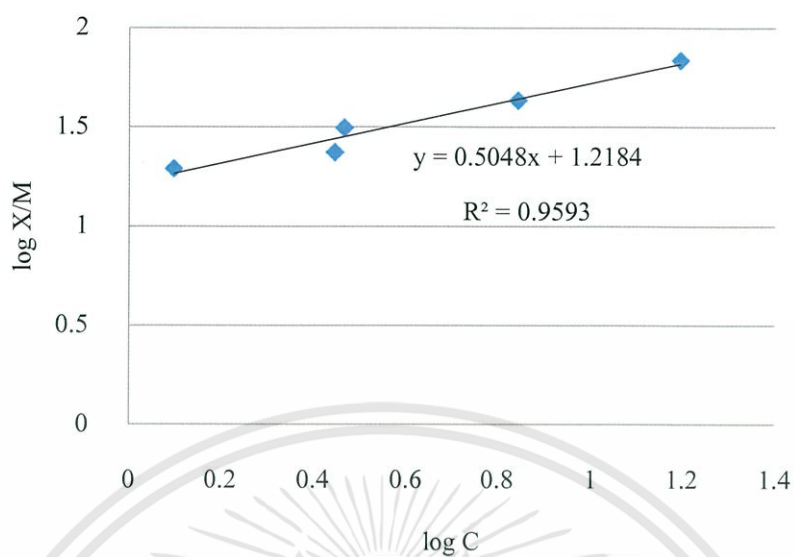


รูปที่ จ.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับนิกเกิล

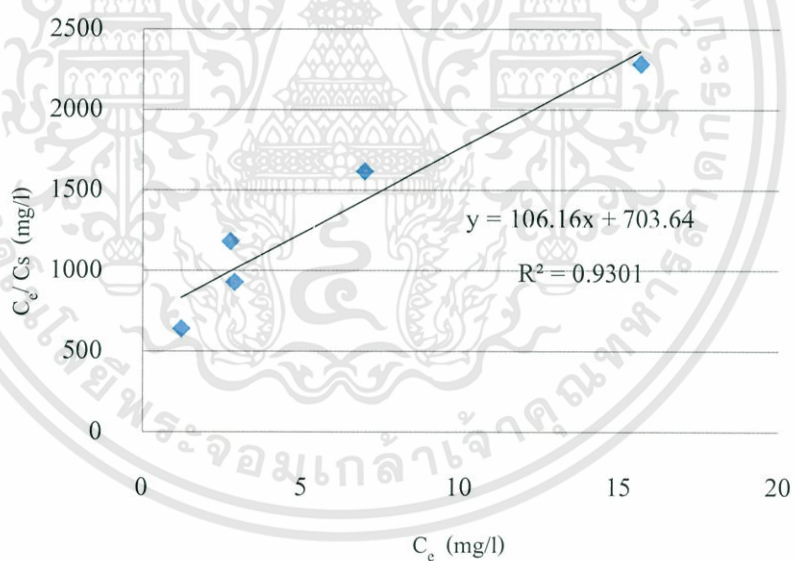


รูปที่ จ.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

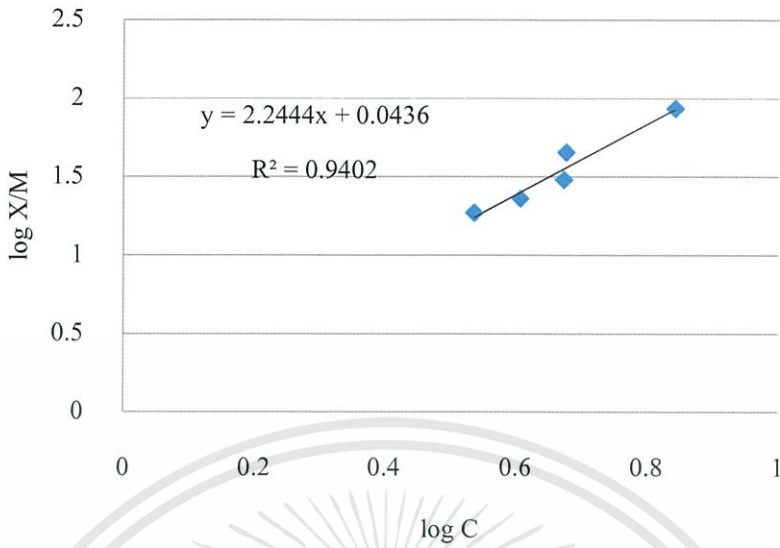


รูปที่ ๓.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับนิกเกิล

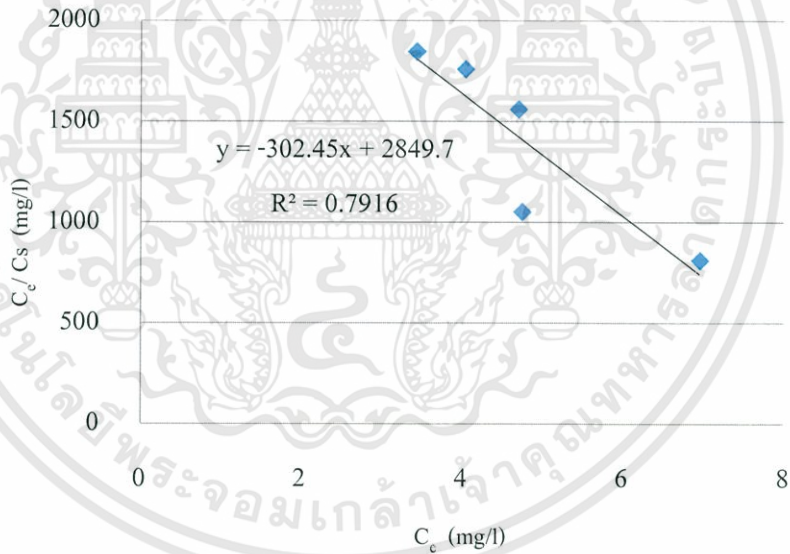


รูปที่ ๓.4 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

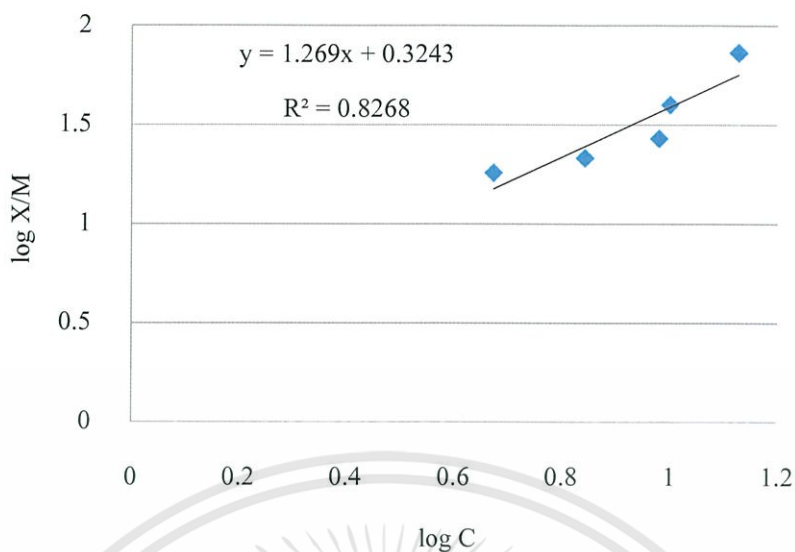


รูปที่ ๖.๕ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับทองแดง

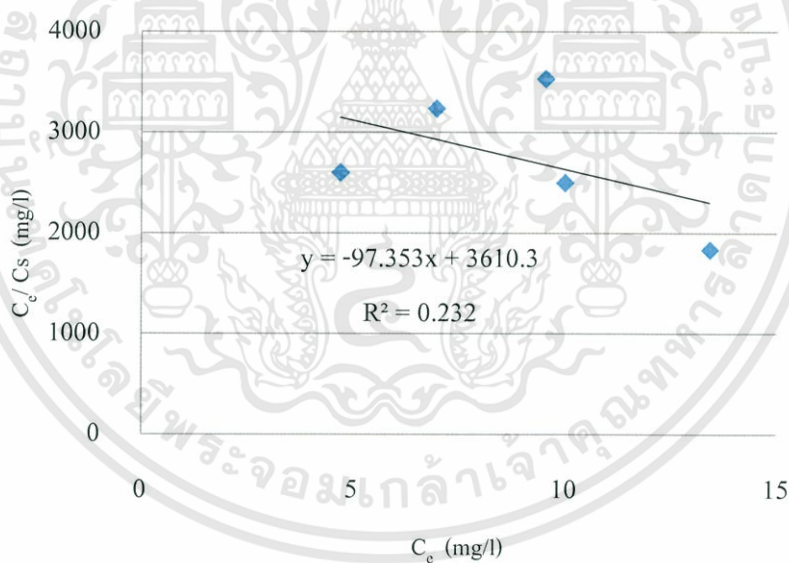


รูปที่ ๖.๖ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

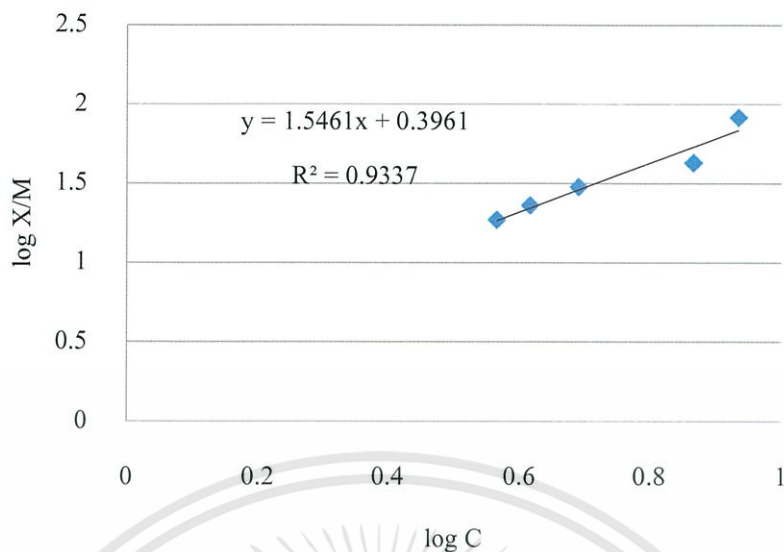


รูปที่ ๑.๗ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับทองแดง

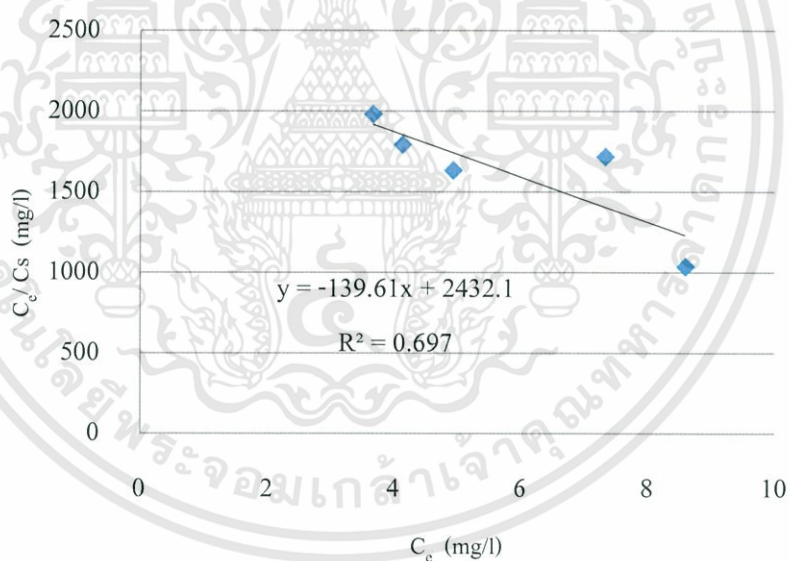


รูปที่ ๑.๘ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

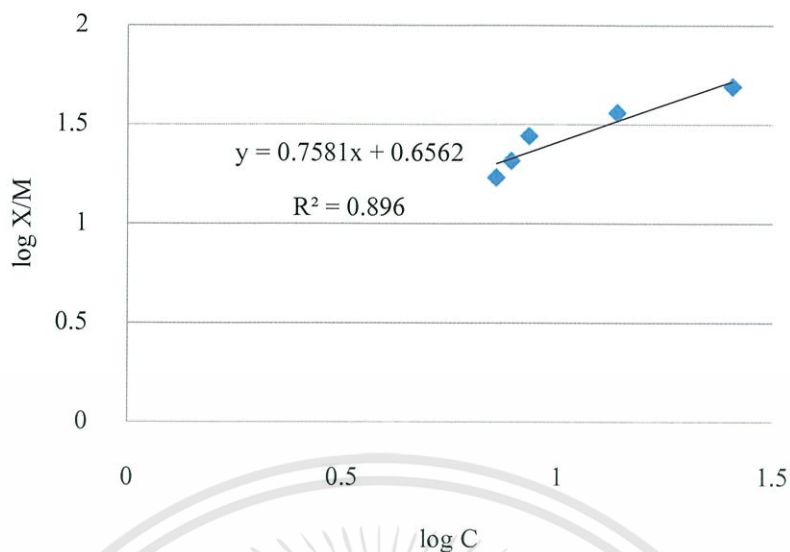


รูปที่ ๑.๙ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับสังกะสี

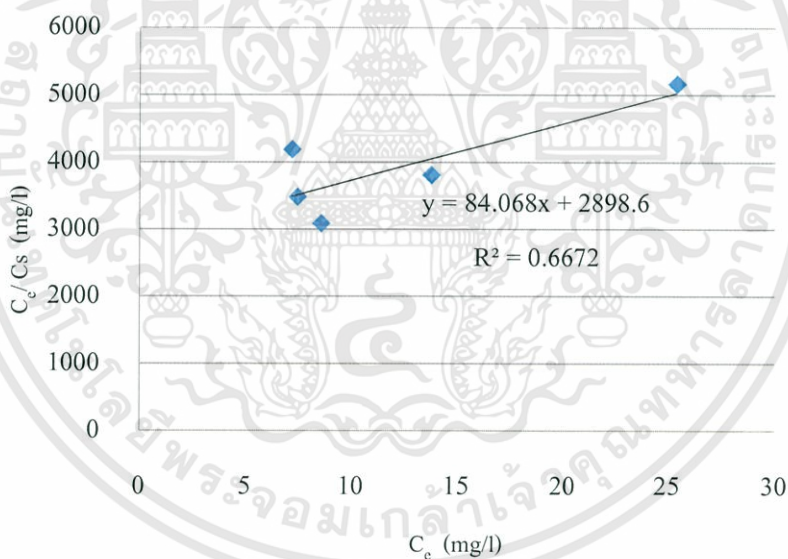


รูปที่ ๑.๑๐ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบละเอียดกับสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๑๑ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับสังกะสี



รูปที่ ๑.๑๒ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของขุยมะพร้าวแบบหยาบกับสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

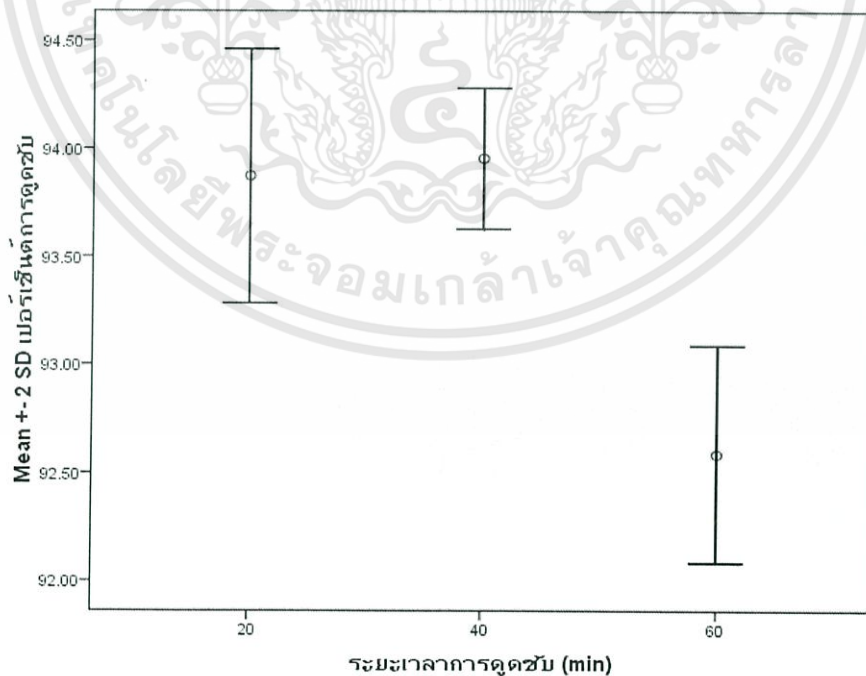
การวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS

(Statistics Package for the Social Science)

ตารางที่ ฉ.1 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.533	2	1.767	30.048	.001
Within Groups	.353	6	.059		
Total	3.886	8			



รูปที่ ฉ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบ

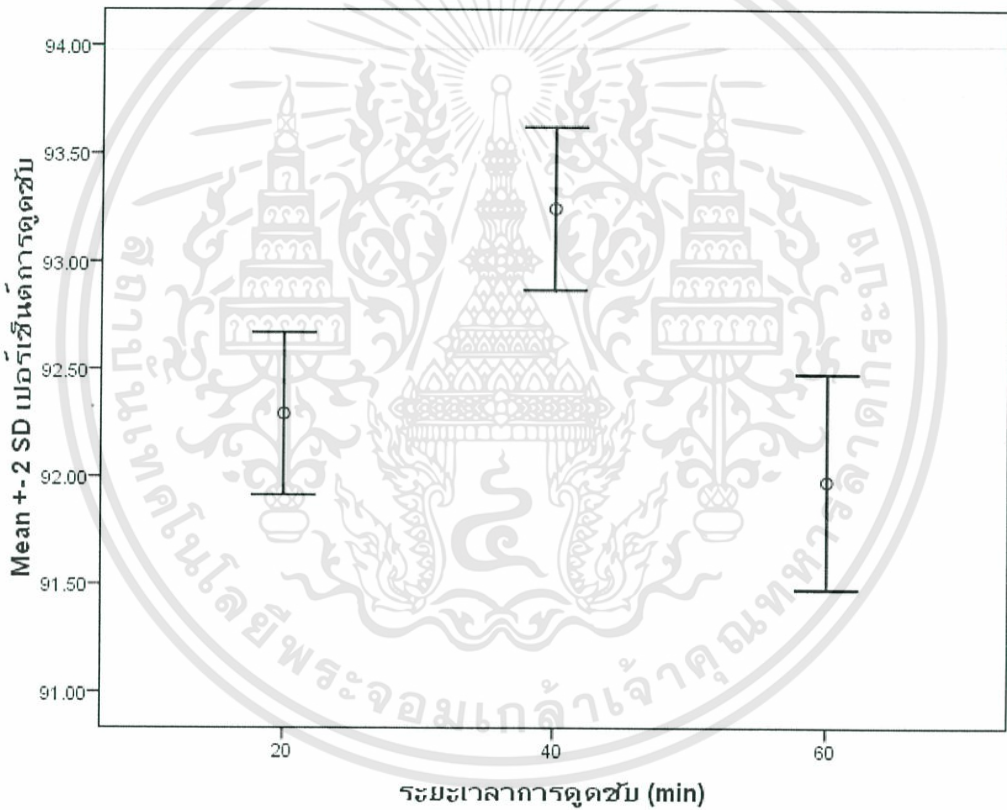
ละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.2 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.616	2	1.308	29.263	.001
Within Groups	.268	6	.045		
Total	2.884	8			



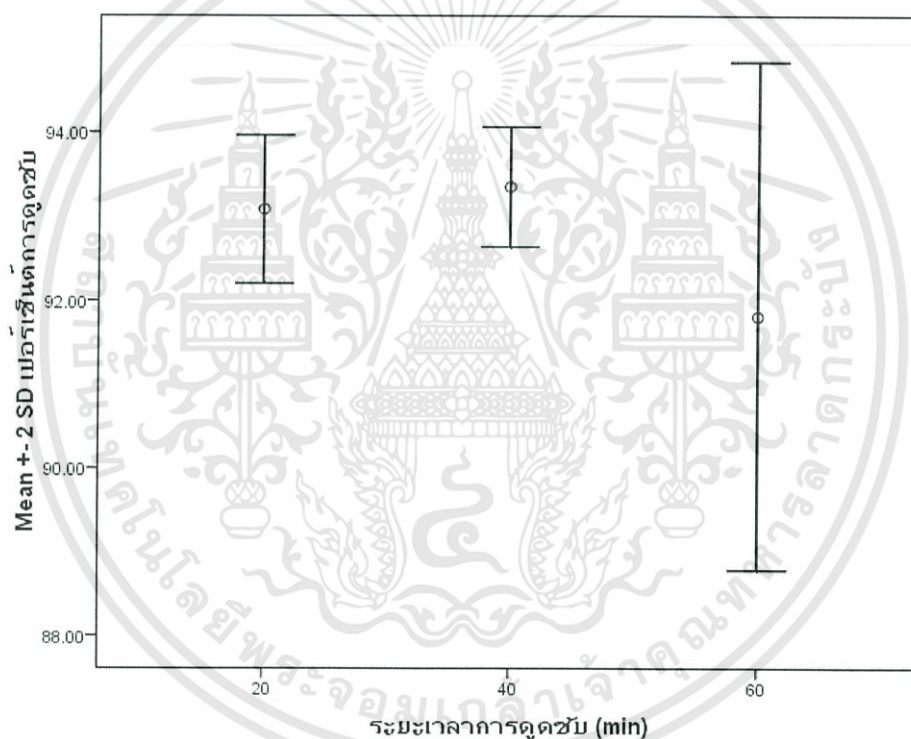
รูปที่ ๑.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.3 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับ
ทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.066	2	2.033	2.334	.178
Within Groups	5.226	6	.871		
Total	9.292	8			



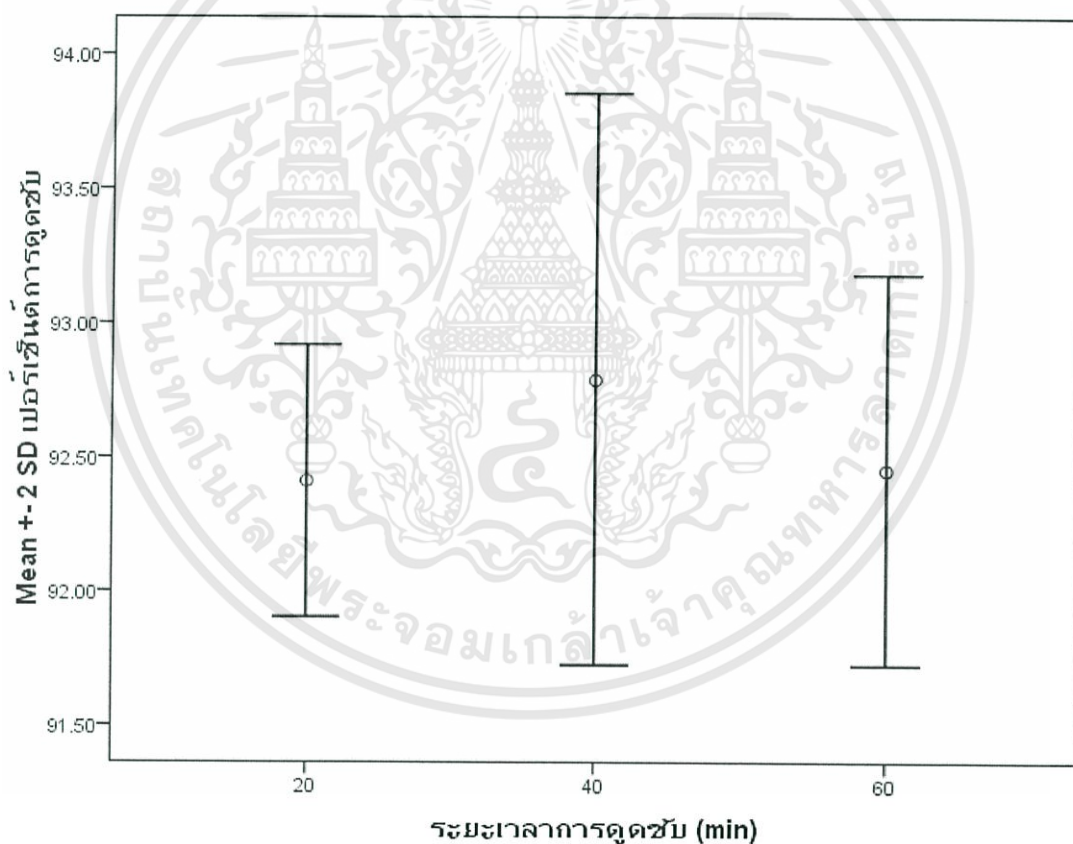
รูปที่ ๓.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.4 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.258	2	.129	.803	.491
Within Groups	.962	6	.160		
Total	1.220	8			



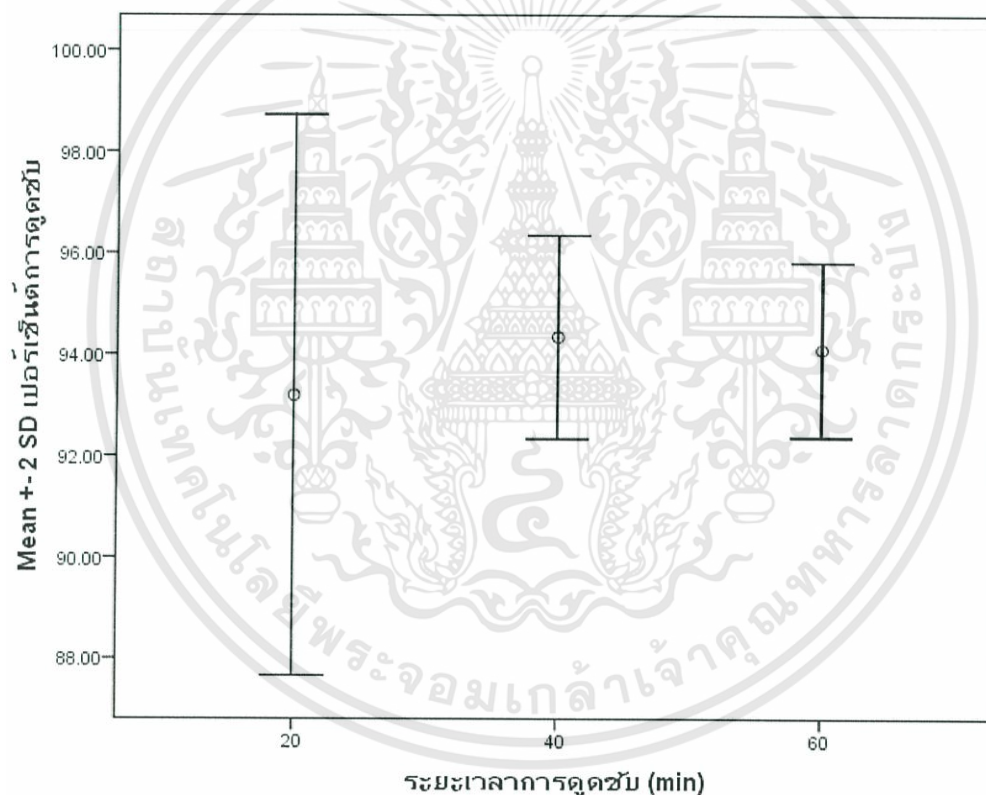
รูปที่ ๓.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.5 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.208	2	1.104	.352	.717
Within Groups	18.809	6	3.135		
Total	21.017	8			



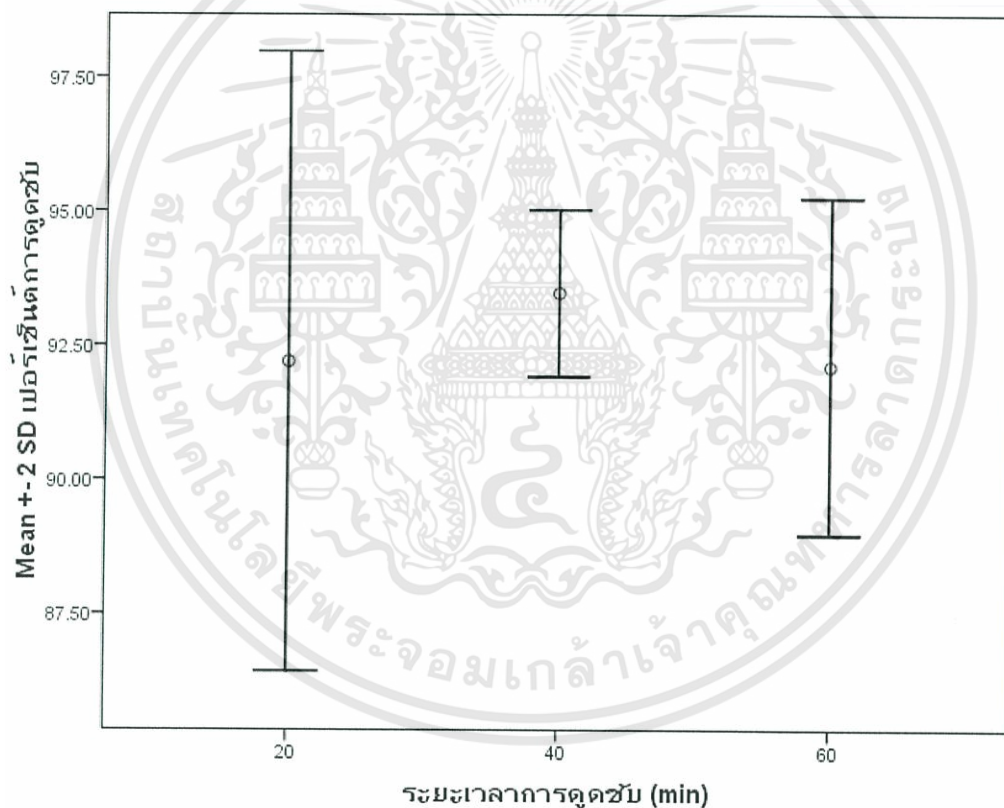
รูปที่ ๓.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.6 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.468	2	1.734	.457	.654
Within Groups	22.777	6	3.796		
Total	26.245	8			

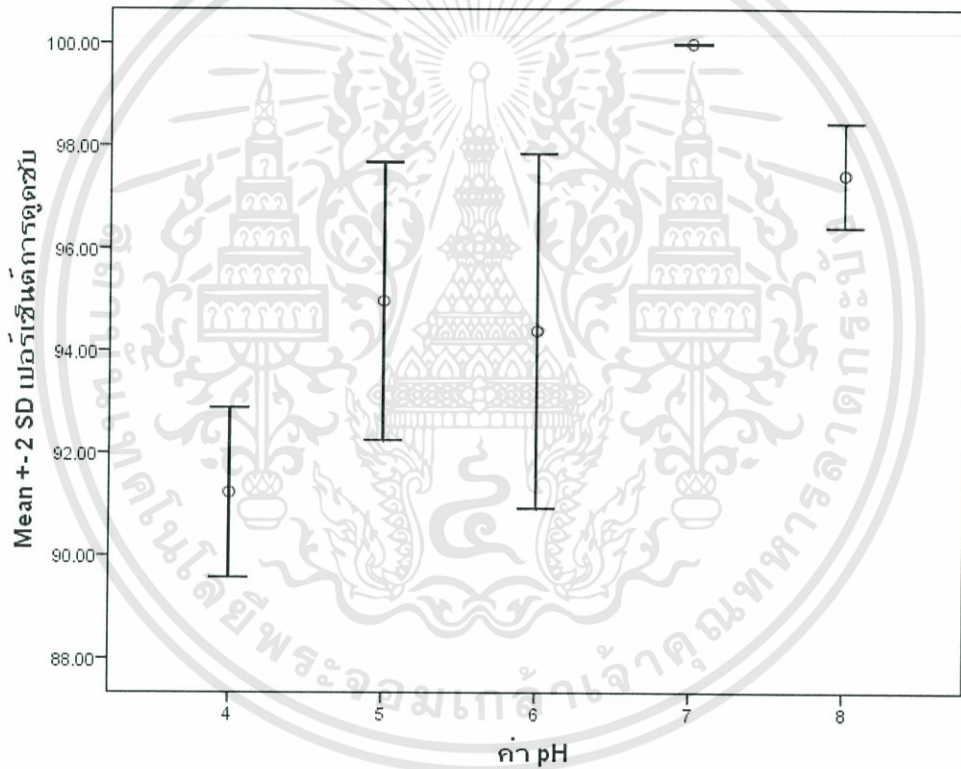


รูปที่ ๑.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๗.7 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	130.677	4	32.669	28.277	.000
Within Groups	11.553	10	1.155		
Total	142.230	14			



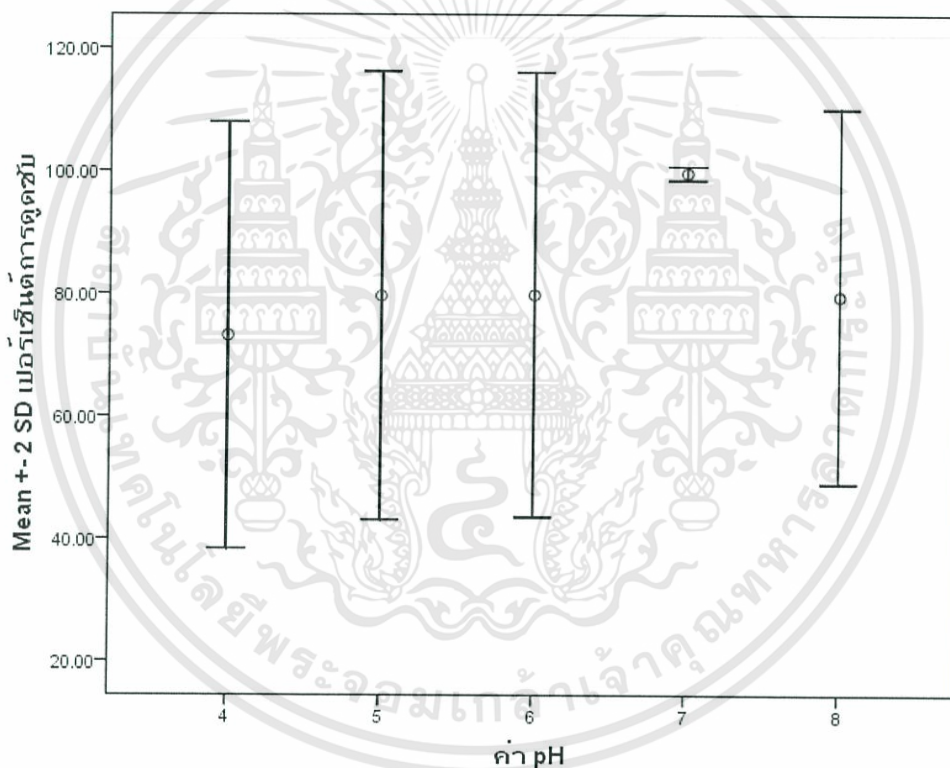
รูปที่ ๗.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๘.8 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1216.454	4	304.113	1.266	.346
Within Groups	2402.213	10	240.221		
Total	3618.667	14			



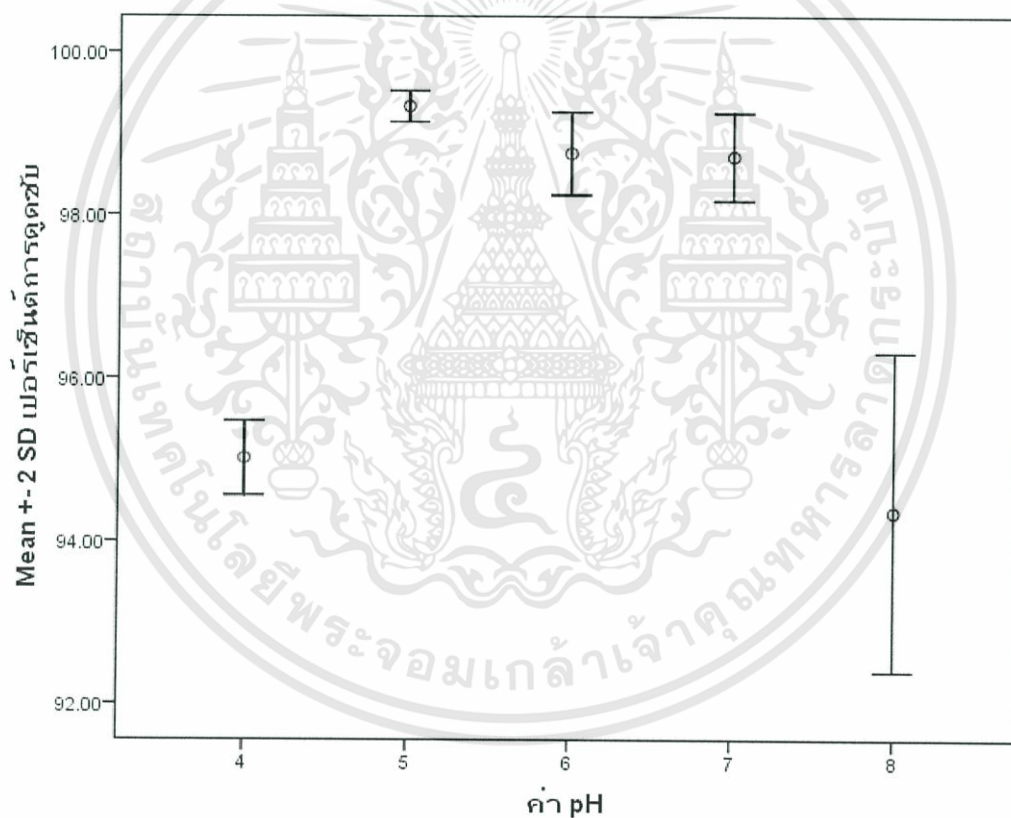
รูปที่ ๘.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.๙ ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	66.187	4	16.547	71.370	.000
Within Groups	2.318	10	.232		
Total	68.505	14			



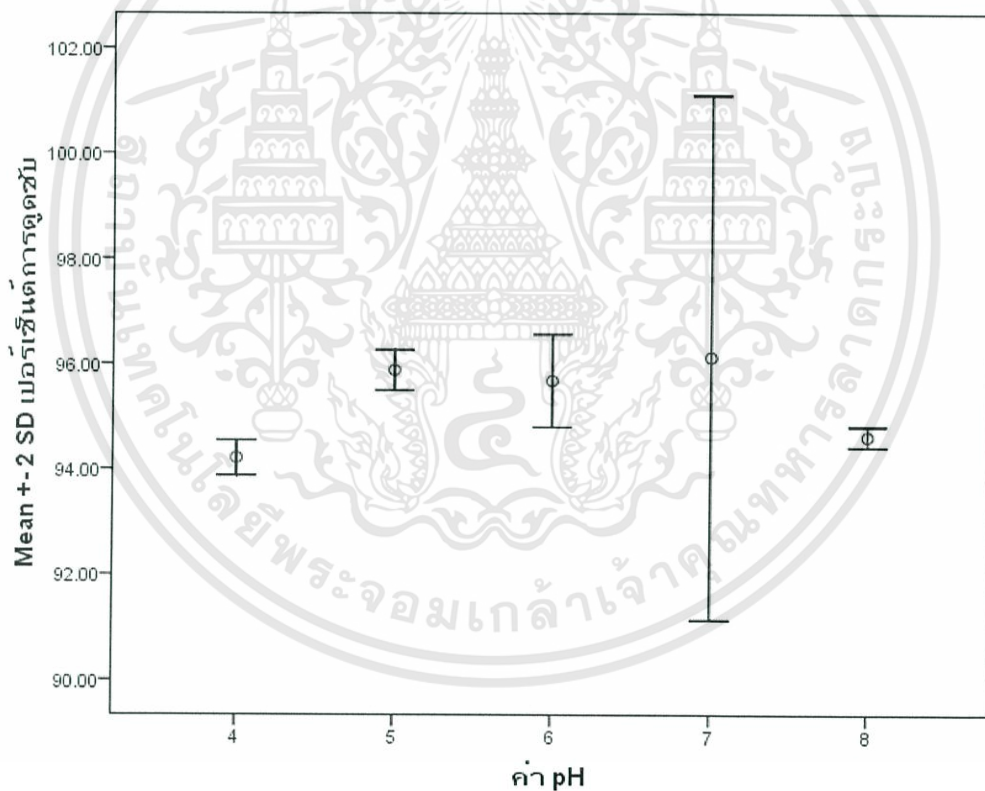
รูปที่ ๑.๙ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.10 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.409	4	2.102	1.622	.244
Within Groups	12.961	10	1.296		
Total	21.370	14			

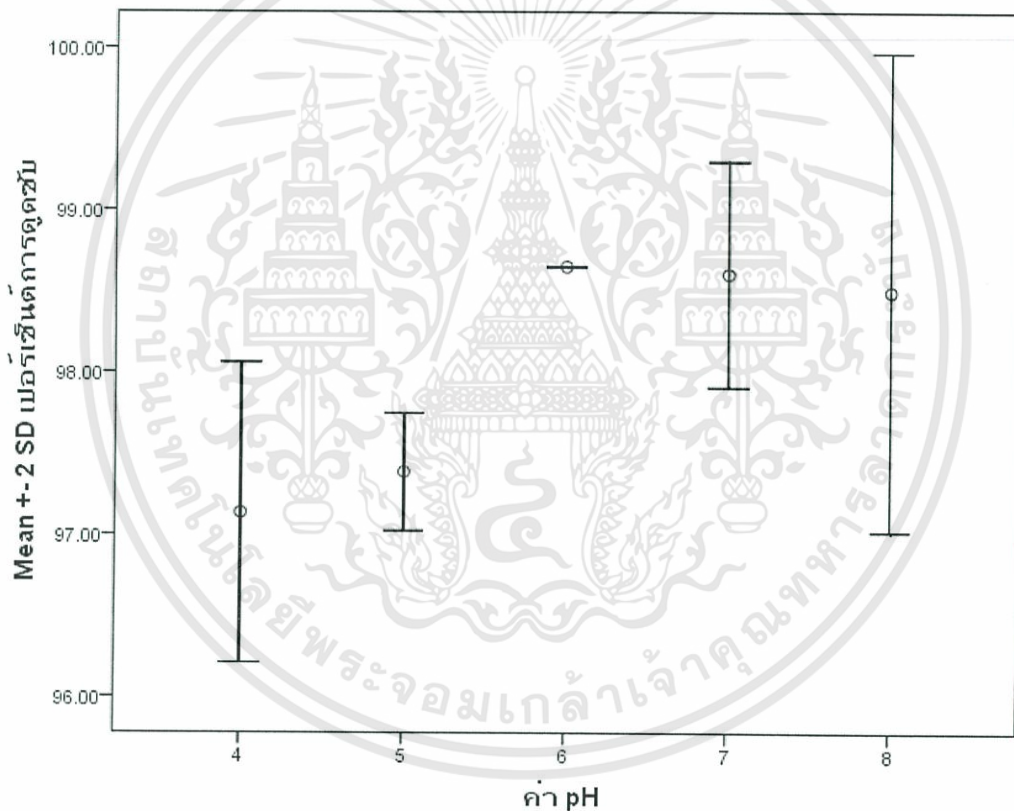


รูปที่ ๑.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๑.11 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.431	4	1.608	8.811	.003
Within Groups	1.825	10	.182		
Total	8.256	14			



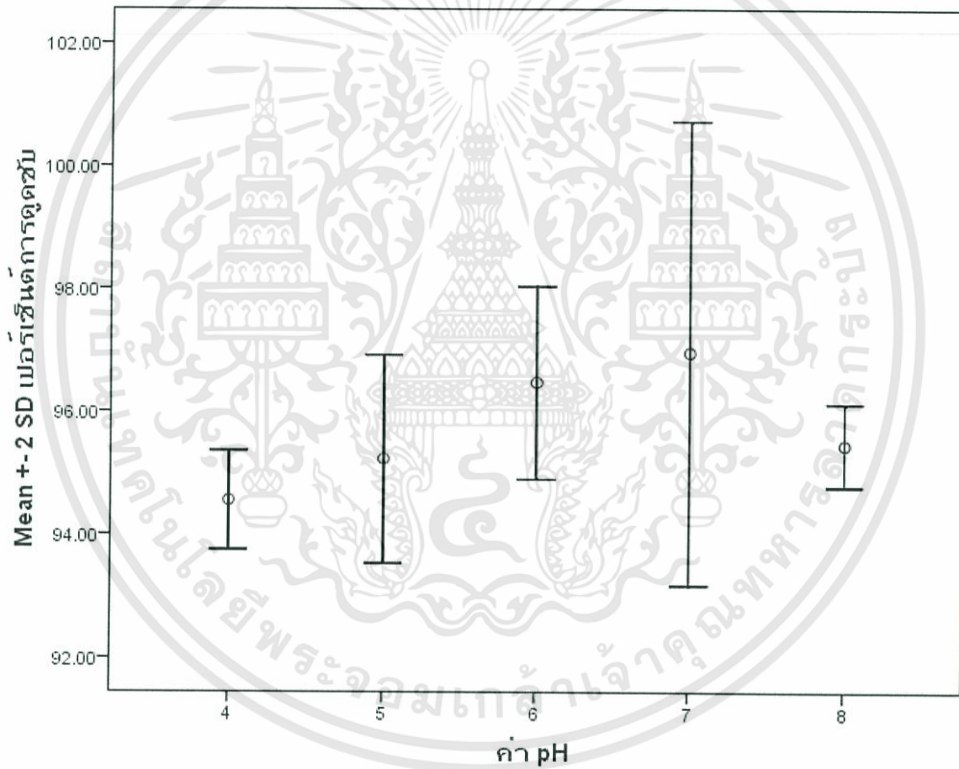
รูปที่ ๑.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.12 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.293	4	2.823	2.723	.091
Within Groups	10.369	10	1.037		
Total	21.662	14			



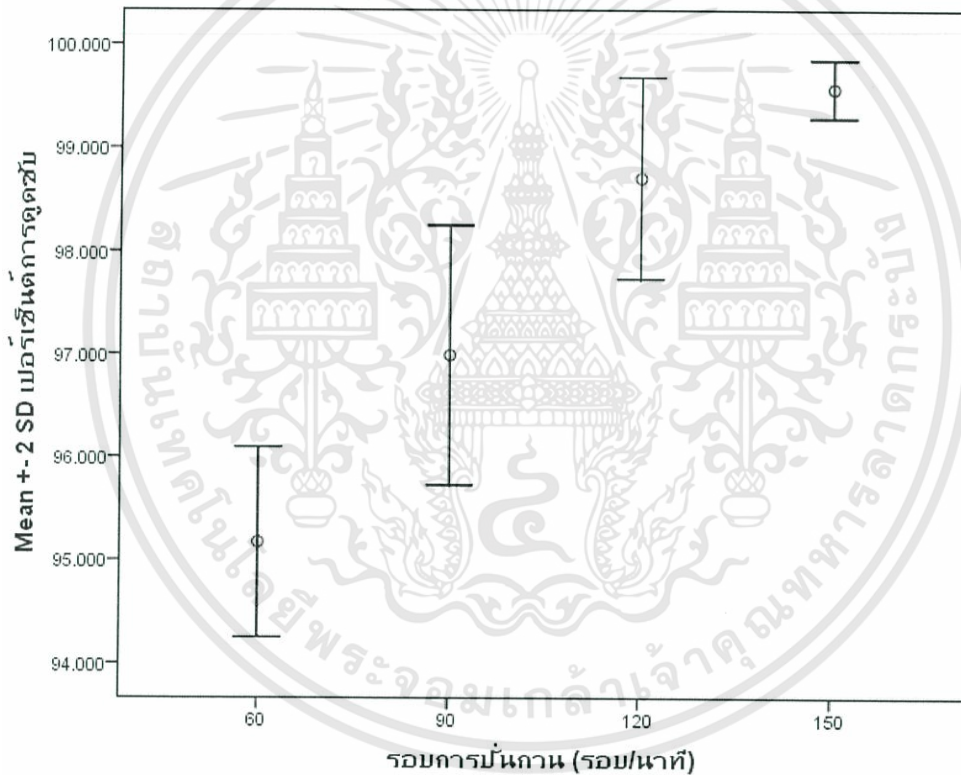
รูปที่ ๑.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.13 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	31.463	3	10.488	44.948	.000
Within Groups	1.867	8	.233		
Total	33.330	11			

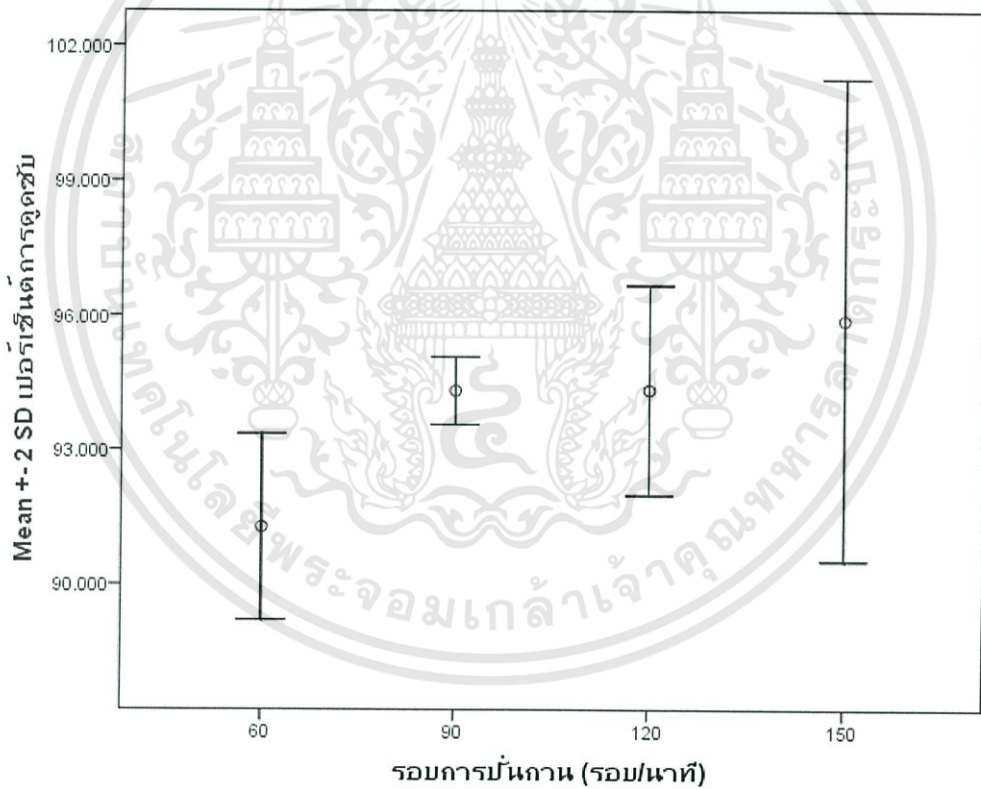


รูปที่ ๑.13 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๑.14 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	33.672	3	11.224	4.579	.038
Within Groups	19.608	8	2.451		
Total	53.280	11			

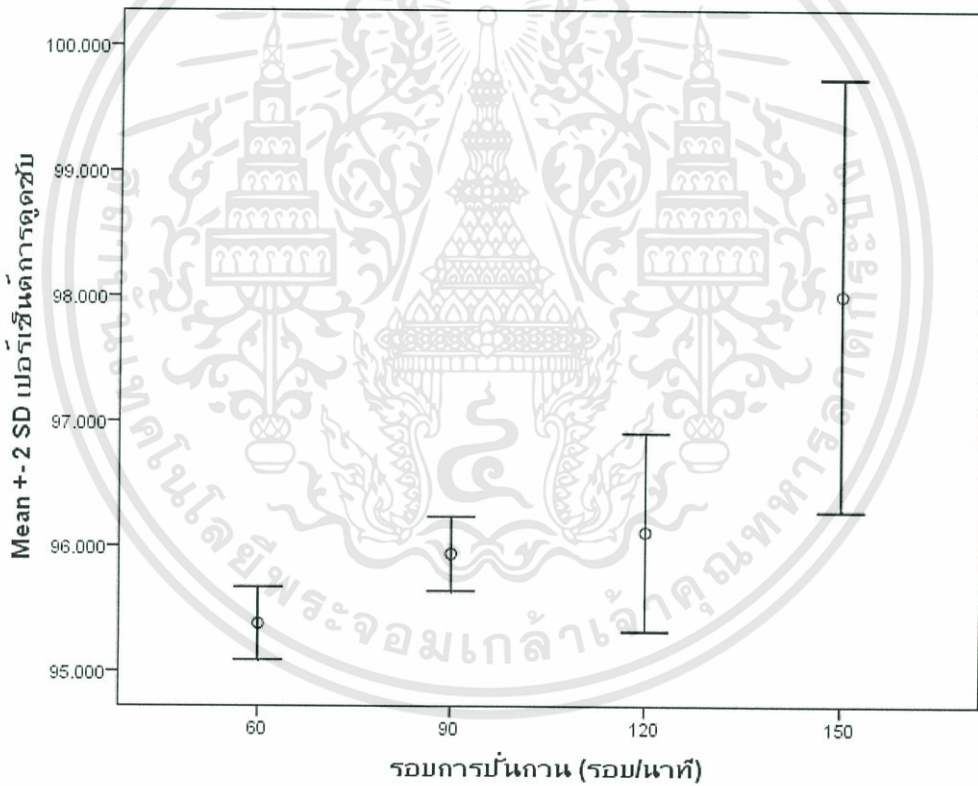


รูปที่ ๑.14 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๑.15 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.720	3	3.907	16.527	.001
Within Groups	1.891	8	.236		
Total	13.612	11			



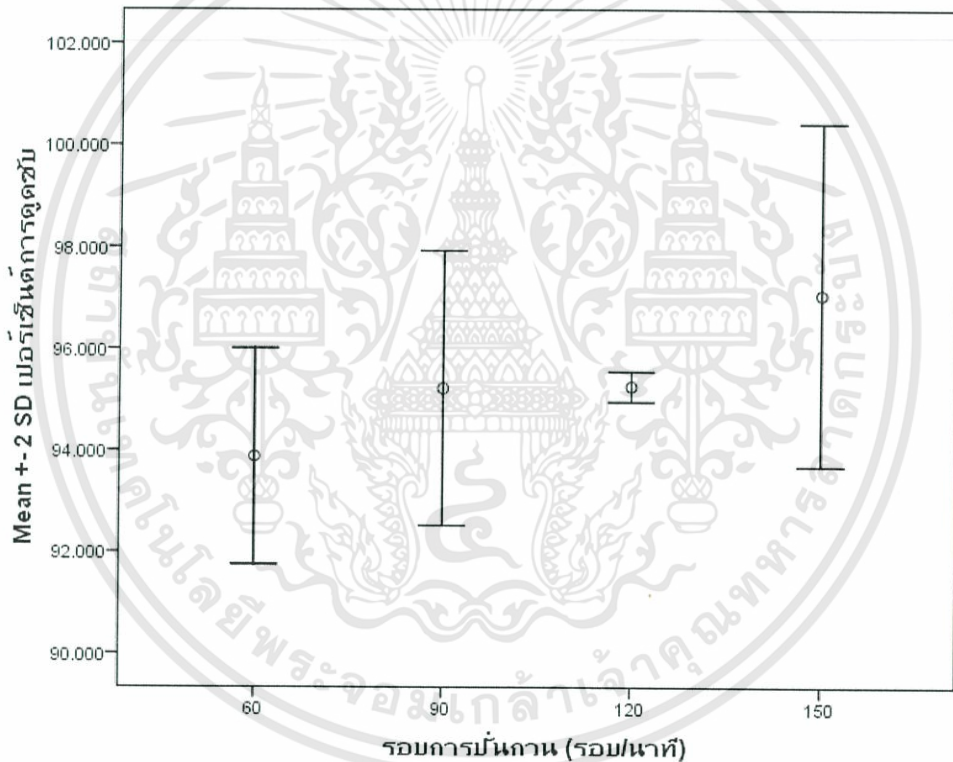
รูปที่ ๑.15 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.16 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15.312	3	5.104	3.513	.069
Within Groups	11.624	8	1.453		
Total	26.936	11			



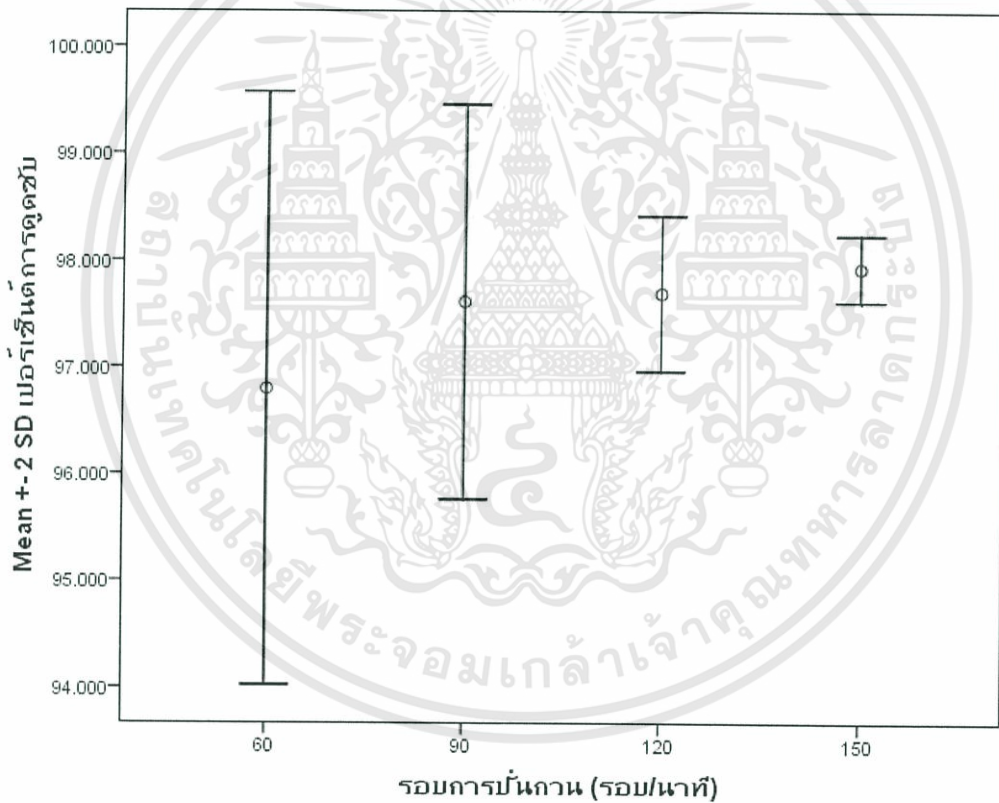
รูปที่ ๑.16 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.17 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.170	3	.723	.985	.447
Within Groups	5.875	8	.734		
Total	8.045	11			

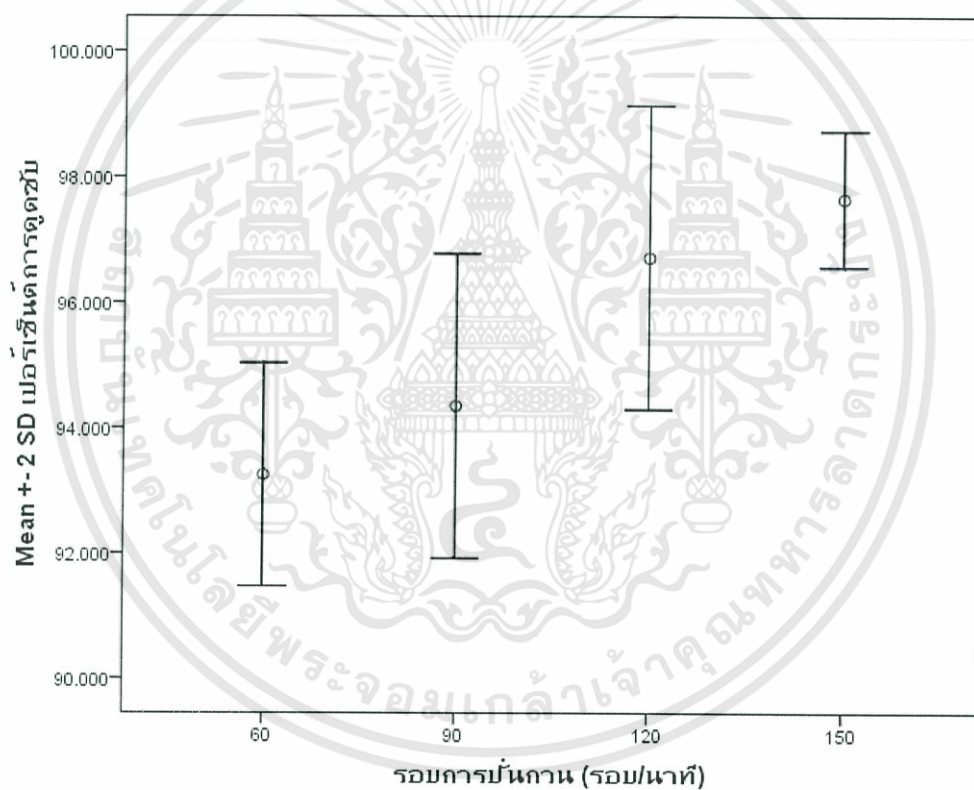


รูปที่ ๑.17 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๑.18 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	37.459	3	12.486	12.415	.002
Within Groups	8.046	8	1.006		
Total	45.506	11			



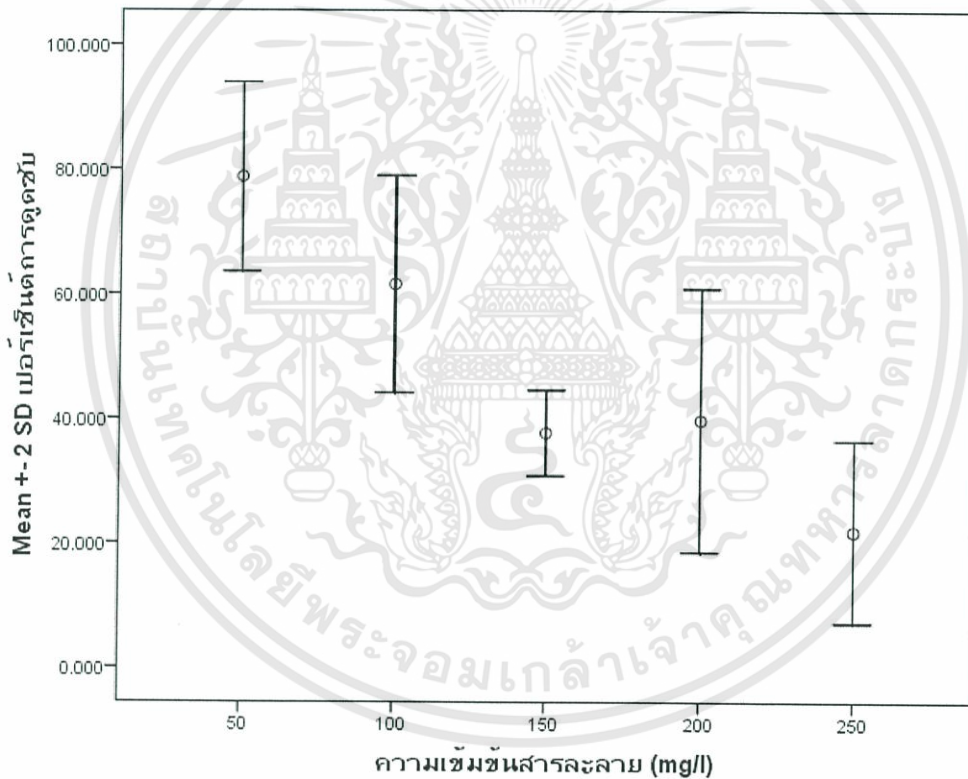
รูปที่ ๑.18 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการปั่นกวน (รอบ/นาที) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.19 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5960.971	4	1490.243	23.935	.000
Within Groups	622.629	10	62.263		
Total	6583.600	14			



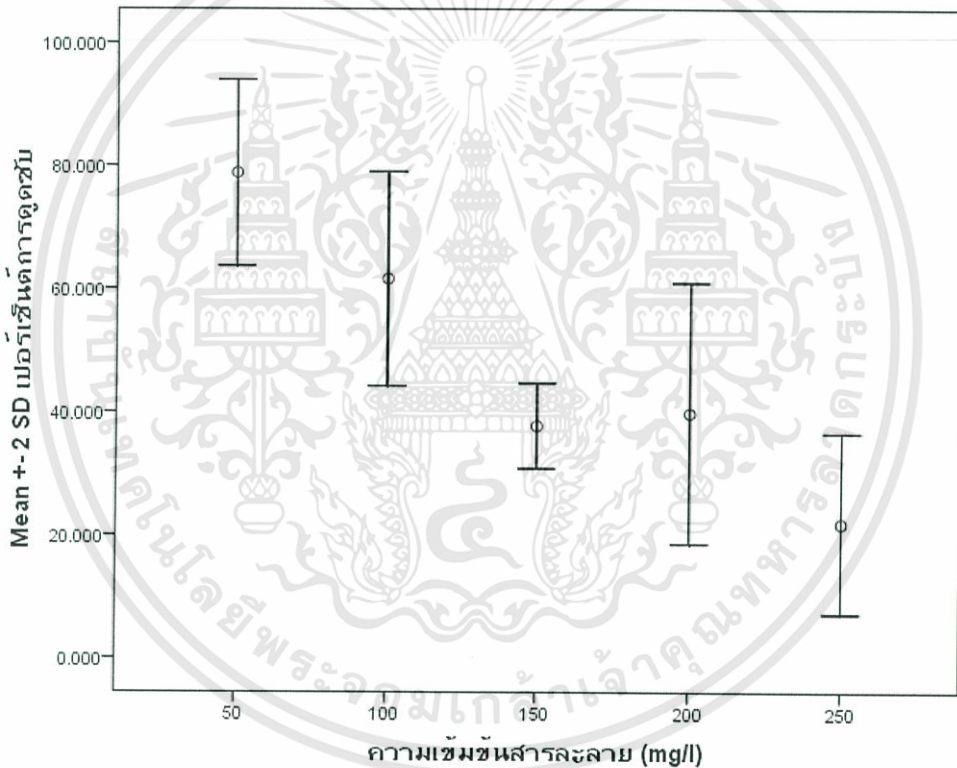
รูปที่ ๑.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.20 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5960.971	4	1490.243	23.935	.000
Within Groups	622.629	10	62.263		
Total	6583.600	14			



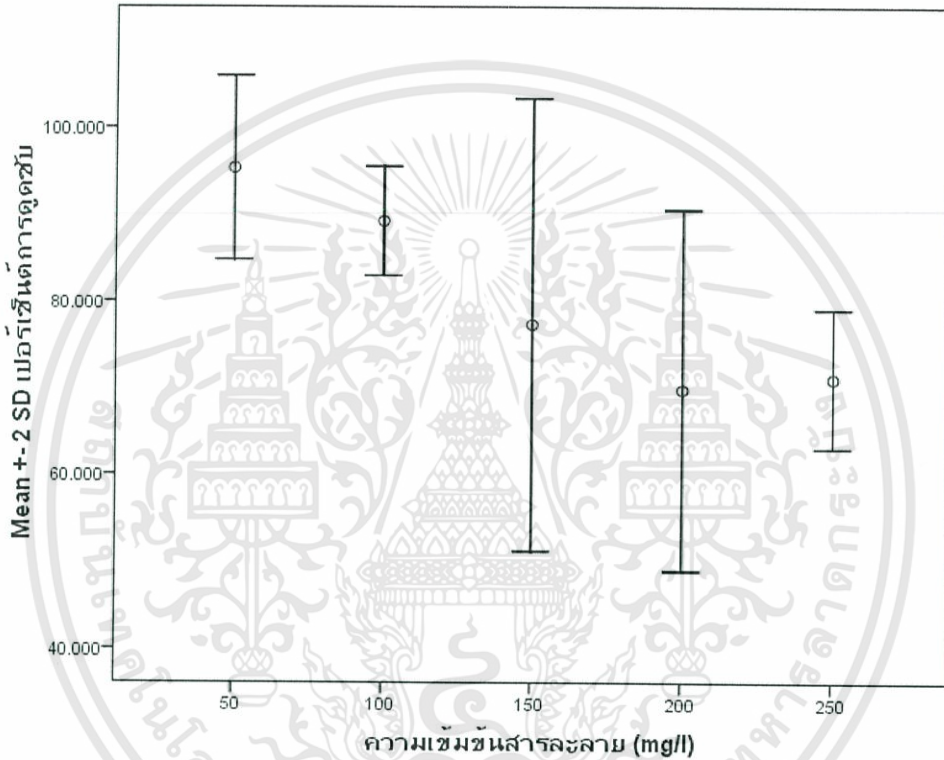
รูปที่ ๑.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับนิกเกิลของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๑.21 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1536.969	4	384.242	5.773	.011
Within Groups	665.615	10	66.562		
Total	2202.585	14			

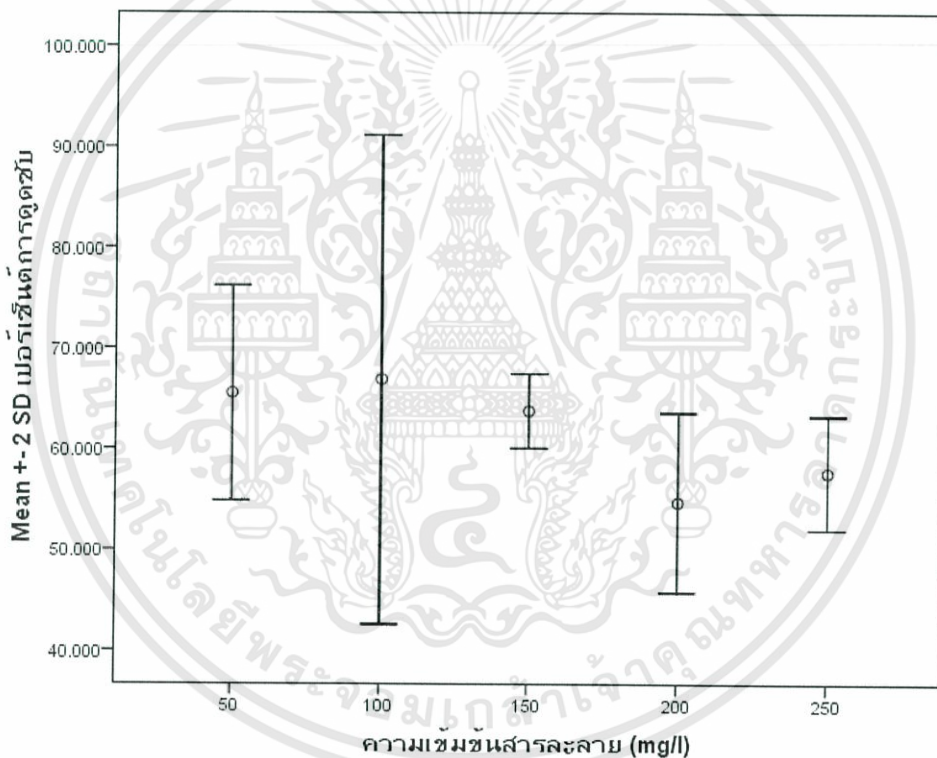


รูปที่ ๑.๒๑ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๑.22 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	335.122	4	83.781	2.019	.168
Within Groups	414.942	10	41.494		
Total	750.064	14			

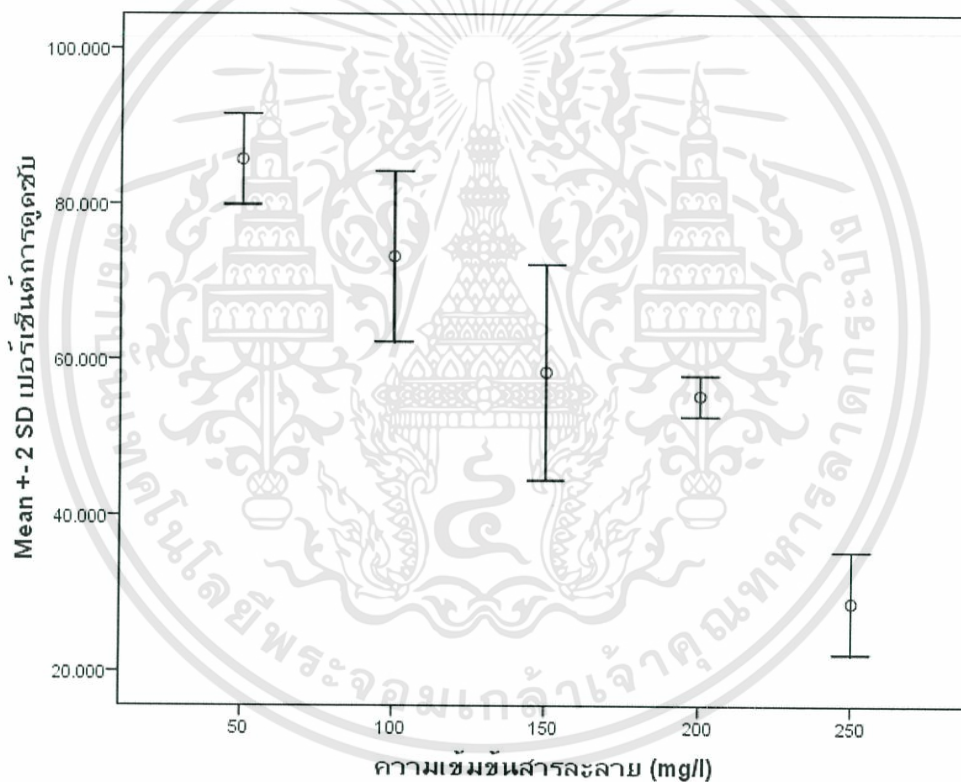


รูปที่ ๑.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับทองแดงของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ตารางที่ ๑.23 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5511.779	4	1377.945	69.324	.000
Within Groups	198.768	10	19.877		
Total	5710.547	14			



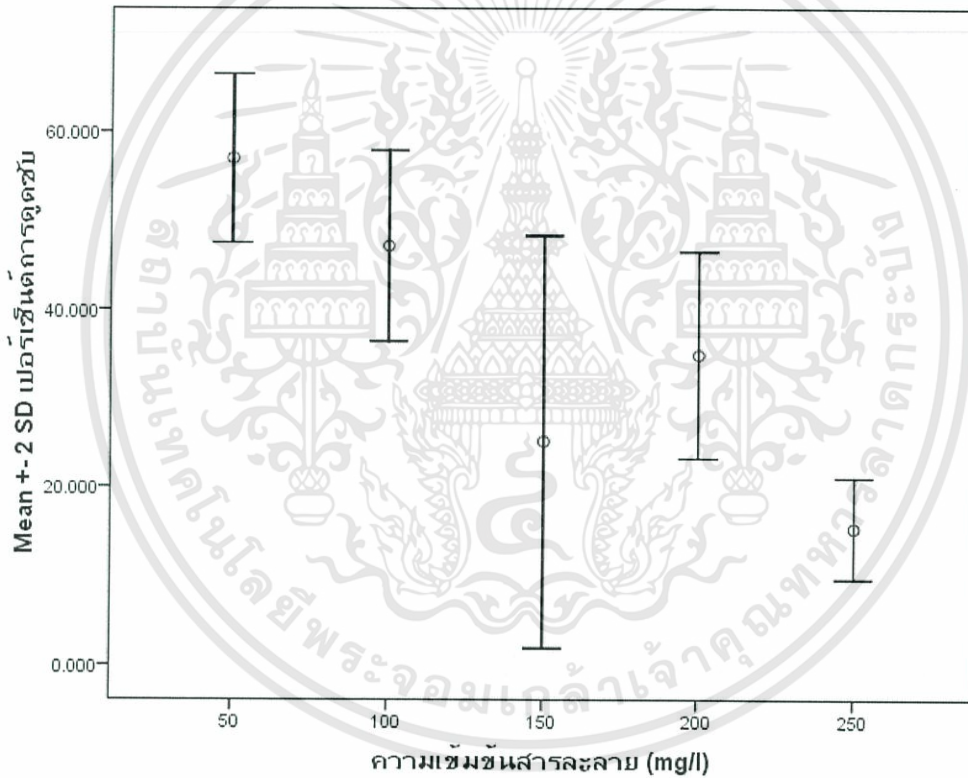
รูปที่ ๑.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบละเอียด ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.24 ANOVA ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3342.766	4	835.692	18.262	.000
Within Groups	457.613	10	45.761		
Total	3800.379	14			



รูปที่ ๑.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย (mg/l) กับร้อยละการดูดซับสังกะสีของขุยมะพร้าวแบบหยาบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1นอร์มัล
ชั่ง NaOH 4 กรัมลงในบีกเกอร์ละลายด้วยน้ำกลั่น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
2. การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1นอร์มัล
ปิเปตสารละลายกรด HCl 37% ปริมาตร 9.9 มิลลิลิตรถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. การเตรียมสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 6นอร์มัล
ชั่ง NaOH 120 กรัมลงในบีกเกอร์ละลายด้วยน้ำกลั่น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
4. การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 6 นอร์มัล
ปิเปตสารละลายกรด HCl 37% ปริมาตร 594 มิลลิลิตรถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
5. การเตรียมสารละลายกรดไนตริก(HNO_3 , 20%)
ปิเปตสารละลายกรด HNO_3 , 65% ปริมาตร 30.8 มิลลิลิตรถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

ภาคผนวก ข

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล 1000 ppm
ชั่ง $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 4.4786 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ละลายด้วยน้ำกลั่นถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรเติมกรด HNO_3 20% ปริมาตร 25 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
2. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล 1 ppm
ปีเปตสารละลายนิกเกิล 1000 ppm ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง 1000 ppm
ชั่ง $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 3.9271 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ละลายด้วยน้ำกลั่นถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรเติมกรด HNO_3 20% ปริมาตร 25 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
4. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง 1 ppm
ปีเปตสารละลายทองแดง 1000 ppm ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
5. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี 1000 ppm
ชั่ง $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.973 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ละลายด้วยน้ำกลั่นถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรเติมกรด HNO_3 20% ปริมาตร 25 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
6. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี 1 ppm
ปีเปตสารละลายสังกะสี 1000 ppm ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
7. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล ทองแดง และสังกะสีความเข้มข้น 50, 100, 150, 200 และ 250 ppm
ปีเปตน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่างๆ 1000 ppm ปริมาตร 50, 100, 150, 200, 250 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ

การสร้างกราฟสารละลายมาตรฐาน

1. การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายนิกเกิล(Ni^{2+})

ปีเปตสารละลายมาตรฐานนิกเกิล 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 100 ppm ปีเปตสารละลายมาตรฐานนิกเกิล 100 ppm ด้วยไมโครปีเปตปริมาตร 0, 50, 500, 1,000 และ 2,000 ไมโครลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 0, 0.1, 1.0, 2.0, 4.0 ppm นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 232 นาโนเมตร

2. การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายคอปเปอร์(Cu^{2+})

ปีเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอก ปริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ เข้มข้น 100 ppm ปีเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ 100 ppm ด้วยไมโครปีเปตปริมาตร 0, 25, 250, 500 และ 750 ไมโครลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์เข้มข้น 0, 0.05, 0.5, 1.0, 1.5 ppm นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร

3. การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายซิงค์ (Zn^{2+})

ปีเปตสารละลายมาตรฐานซิงค์ 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ขวดวัด ปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานซิงค์เข้มข้น 100 ppm ปีเปตสารละลายมาตรฐานซิงค์ 100 ppm ด้วยไมโครปีเปตปริมาตร 0, 5, 125, 250 และ 375 ไมโครลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายมาตรฐานซิงค์เข้มข้น 0, 0.01, 0.25, 0.5, 0.75 ppm นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 213.4 นาโนเมตร