สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโดยใช้ขยะเปลือกไข่

(Removal of Copper and Nickel from Wastewater by Egg Shell Waste)

วราภรณ์ ผ่องแผ้ว

สุรัสวดี เจตน์เกษตรกรณ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....49250
วัน, เดือน, ปี.....18 ก.พ. 2547

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

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Copper and Nickel from Wastewater by Egg Shell Waste

Waraporn Phongpheaw

Surassawadee Jetkasettakorn

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 Tecnology Ladkrabang

Academic Year 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การกำจัดทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโดยใช้ขยะเปลือกไข่
โดย	นางสาว วราภรณ์ ผ่องแผ้ว นางสาว สุรัสวดี เจตน์เกษตรกรณ์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....
กรรมการ ดร. อุสารัตน์ ภักดีสู่สุข	.....
กรรมการ ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	.....

.....

(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การกำจัดทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโดยใช้ขยะเปลือกไข่
นักศึกษา	วราภรณ์ ผ่องแผ้ว สุรัสวดี เจตน์เกษตรกรณ์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดทองแดง และนิกเกิล ซึ่งโดยใช้เปลือกไข่ไก่ที่มีขนาด 35 เมช โดยทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดงและนิกเกิลโดยใช้สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณเปลือกไข่ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ พบว่าสารละลายทองแดงใช้ปริมาณเปลือกไข่ 5 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำการดูดซับคือ 30 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับร่วมกับการตกตะกอนเท่ากับ 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 พบว่าสามารถทำการบำบัดทองแดงและนิกเกิลคิดเป็นประสิทธิภาพได้เท่ากับ 98.67% และ 98.21 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Removal of Copper and Nickel from Wastewater by Egg Shell Waste
Author	Miss Waraporn Phongphaew Miss Surassawadee Jetkasettakorn
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2002
Special Project Advisor	Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the capability of copper and nickel removal by 35 mesh size egg shell. All experiments were done on batch test. Synthesis wastewater were used to deserve the optimum conditions. The studied factors were an amount of egg shell, temperature and adsorption time. For copper solution, 5 grams of egg shell per 1 litre of solution, 30 °C temperature and 30 minutes adsorption time was found to be the best condition. The copper efficiency was 97.60%. For nickel solution, 60 grams of egg shell per 1 litre of solution, 30 °C temperature and 240 minutes adsorption time was found to be the best condition. The nickel efficiency was 90.59%. For copper in mixed copper and nickel solution, 2.5 grams of egg shell per 1 litre of solution, 30 °C temperature and 30 minutes adsorption time was found to be the best condition. The copper efficiency was 95.03%. For nickel in mixed copper and nickel solution, 90 grams of egg shell per 1 litre of solution, 30 °C temperature and 180 minutes adsorption time was found to be the best condition. The nickel efficiency was 98.64%. The 90 grams of egg shell per 1 litre of solution, 30 °C temperature and 180 minutes adsorption time was a condition used to treat the electroplating wastewater from Ladkrabang Industrial Estate. It was found that the removal efficiencies of copper and nickel were 98.67% and 98.21%, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษสามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบ ดูแล เอาใจใส่อย่างดีและให้คำปรึกษาได้ตลอดเวลา จนผลงานสำเร็จในที่สุด

ขอขอบคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และ ดร. อุสารัตน์ ภักดีสู่สุข ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการทำรายงาน และให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ รวมถึงท่านอาจารย์เคมีทุกๆท่านที่ยังไม่กล่าวมา อีกทั้งยังเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมีทุกๆท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านอย่างเต็มที่ อีกทั้งร้านอาหารหอพักอัธยาศัย และร้านอาหารป้าตุ่นในโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือเก็บเปลือกไข่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ใช้เครื่องบดและเครื่องร่อนในการแยกขนาดสำหรับโครงงานพิเศษครั้งนี้

ขอบคุณ คุณแม่ คุณพ่อ ญาติ พี่น้อง เพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุกๆคนที่ได้ให้กำลังใจกับพวกเรา ให้พวกเรามีกำลังใจในการต่อสู้ และช่วยเหลือในทุกๆด้านจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลงในที่สุด

ขอขอบคุณ

นางสาววราภรณ์ ผ่องแผ้ว

นางสาวสุรัสวดี เจตน์เกษตรกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำสำคัญ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 เปลือกไข่	4
2.1.1 ลักษณะสำคัญของเปลือกไข่	4
2.1.2 คุณสมบัติของเปลือกไข่	4
2.1.3 โครงสร้างของเปลือกไข่	4
2.2 กระบวนดูดซับ	9
2.2.1 ลักษณะการดูดซับ	10
2.2.2 กลไกการดูดซับ	11
2.2.3 สมดุลการดูดซับ (equilibrium adsorption)	12
2.3 นิกเกิล	22
2.4 ทองแดง	24
2.5 การชุบโลหะหนัก	28
2.5.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยโลหะไฟฟ้า	28
2.5.2 ขั้นตอนการชุบโลหะ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.5.3 การชุบนิกเกิล 31

2.5.4 การชุบทองแดง 32

2.6 ผลกระทบโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ 33

2.7 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่ใช้กันในปัจจุบัน 33

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะหนักทองแดงและนิกเกิล 35

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 38

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 38

3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 39

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 39

3.3.1 การเตรียมวัสดุจากเปลือกไข่ 39

3.3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิล 39

3.3.3 การศึกษากระบวนการดูดซับ 40

3.3.4 การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับของเปลือกไข่ 40

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาปริมาณเปลือกไข่ที่มีผลต่อการดูดซับ 42

4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่มีผลต่อการดูดซับ 47

4.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่มีผลต่อการดูดซับ 51

4.4 ผลการศึกษาการดูดซับทองแดงและนิกเกิลใน น้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานชุบโลหะ 56

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป 57

5.2 ข้อเสนอแนะ 58

เอกสารอ้างอิง 59

ภาคผนวก ก คำจำกัดความ 61

ภาคผนวก ข มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม 62

ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลข้อมูล 66

ภาคผนวก ง Solubility Produtcs (Ksp) at 25 °C 82

ภาคผนวก จ วิธีคำนวณข้อมูล 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของเปลือกไข่หนึ่งใบ 5

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน 26
(Standard Electrde Potentials) ของทองแดง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและนิกเกิล 56
ในน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานชุบโลหะโดยใช้เปลือกไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	ภาคตัดขวางของเปลือกไข่แสดงสารประกอบอินทรีย์ (ด้านซ้าย) และโครงสร้างผลึก อนินทรีย์สาร (crystalline) ด้านขวา	6
รูปที่ 2.2	ก. โครงสร้างสารครอนดรอยทิน ซัลเฟต เอ (chordroitin sulfate A) ข. โครงสร้างสารครอนดรอยทิน ซัลเฟต บี (chordroitin sulfate B)	7
รูปที่ 2.3	โครงสร้างกรดไฮยาลูโซนิก (hyaluronic acid)	7
รูปที่ 2.4	การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์	11
รูปที่ 2.5	ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารในกระบวนการดูดซับ (adsorption process)	12
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง C_t / C_o กับเวลาในการดูดซับ Cu(II) ผักตบชวาที่ความเข้มข้น เริ่มต้นต่างๆ	13
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ $t^{0.5}$ ในการดูดซับ Cu(II) ด้วยผักตบชวาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ	13
รูปที่ 2.8	รูปแบบ (species) ของ Pb Ni Zn และ Cd ในสารละลาย pH ต่างๆ	15
รูปที่ 2.9	การแตกตัวของโมเลกุลที่พีเอชต่างๆ	15
รูปที่ 2.10	ผลของอุณภูมิที่มีผลต่อค่า rate constant (k) ของปฏิกิริยาระหว่าง iodide (I^-) กับ methyl bromide (CH_3Br) ในสารละลาย	16
รูปที่ 2.11	Energy distribution cure ของปฏิกิริยาระหว่าง iodide (I^-) กับ methyl-2-butene ที่ อุณหภูมิต่างกัน (Ea of butene = 262 kJ/mol)	17
รูปที่ 2.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง ln (k) กับ 1/T ของปฏิกิริยาระหว่าง iodide (I^-) กับ methyl bromide (CH_3Br) ในสารละลาย	18
รูปที่ 2.13	การเขียนกราฟแบบลอการิทึ่มของการดูดติดผิวของสารละลายบนถ่าน (charcoal) ที่อุหภูมิ และความดันคงที่	19
รูปที่ 2.14	กราฟเส้นตรงที่แสดงรูปแบบของ Langmuir isotherm	20
รูปที่ 2.15	กราฟและรูปแบบของ BET isotherm	21
รูปที่ 2.16	การกระจายของสารประกอบนิกเกิล	23
รูปที่ 2.17	วิธีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	29
รูปที่ 2.18	ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของทองแดง เมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ 43

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของนิกเกิล เมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ 44

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของทองแดง ในสารละลายผสมทองแดง-นิกเกิลเมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ 45

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของนิกเกิล ในสารละลายผสมทองแดง-นิกเกิลเมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ 46

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของทองแดง เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ 48

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของนิกเกิล เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ 49

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของ ทองแดงในสารละลายผสมมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการดูดซับ 50

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของ นิกเกิลในสารละลายผสมเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการดูดซับ 50

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของทองแดง เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ 52

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของนิกเกิล เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ 53

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของทองแดง ในสารละลายผสมเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ 54

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของนิกเกิล ในสารละลายผสมเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ

คำศัพท์	คำอธิบาย
ppm	หน่วยเป็นมิลลิกรัม ต่อ ลิตร
min	หน่วยเวลาเป็นนาที
mg/l	หน่วยน้ำหนักเป็นมิลลิกรัม ต่อ ปริมาตรใน 1 ลิตร
pH	ค่าความเป็นกรดด่าง
g	หน่วยน้ำหนักเป็นกรัม
L	หน่วยปริมาตรเป็นลิตร
T °C	อุณหภูมิหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียจากโรงงานชุบผิวโลหะขนาดเล็กจะมีการปนเปื้อนของอิออนของโลหะหนักชนิดต่างๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี อะลูมิเนียม เป็นต้น และมักจะมีปริมาณเกินกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม(วิทยา,2525) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรม

เทคนิคที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีอิออนของโลหะหนักปนเปื้อนในปัจจุบันส่วนใหญ่คือ การบำบัดด้วยวิธีทางเคมี (สมบูรณ์,2533) โดยอาศัยการตกตะกอนของผลึกโลหะหนักไฮดรอกไซด์ เพราะสามารถควบคุมระบบได้ง่ายด้วยการปรับพีเอชของน้ำเสีย และสารเคมีที่ใช้มีราคาถูก แต่วิธีการนี้มีข้อเสียที่สำคัญคือ ลิแกนด์ของสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสียจะขัดขวางไม่ให้โลหะหนักที่ละลายอยู่ตกตะกอนออกมาได้ เป็นผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลืออยู่เกินมาตรฐานน้ำทิ้ง นอกจากนี้การจัดการตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นยังทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านการรีดน้ำออกจากตะกอน ส่วนการบำบัดโดยอาศัยการตกตะกอนของผลึกโลหะหนักซัลไฟด์ สามารถแก้ข้อเสียของการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ได้ แต่ยังคงมีปัญหาเรื่องการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการควบคุมระบบที่กระทำได้ยากกว่า

จากข้อเสียดังกล่าวจึงได้มีความพยายามที่จะศึกษาวิธีการอื่นที่มีประสิทธิภาพและมีราคาถูกมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักต่างๆได้ ทำให้มีแนวคิดที่จะทดลองนำเปลือกไข่มาใช้ในการกำจัดทองแดงและนิกเกิลในอิออนของโลหะหนักในน้ำเสีย จากการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกไข่พบว่าสามารถดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียได้ และสามารถหาได้ง่าย เป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ เป็นกระบวนการที่ไม่เปลืองสารเคมี ไม่เกิดตะกอนสลัดจ์ ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องมีถังตกตะกอน และทำให้มีต้นทุนในการกำจัดที่ต่ำกว่าการใช้สารเคมี

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณเปลือกไข่ในการดูดซับตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิลและตัวอย่างน้ำ เสียอุตสาหกรรม
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิลและตัวอย่างน้ำ เสียอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาผลของเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิลและตัวอย่างน้ำ เสียอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. วัสดุดูดซับที่ใช้คือ เปลือกไข่ไก่
2. ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง และนิกเกิล มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 25 ppm
3. ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงผสมนิกเกิลที่มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 25 ppm
4. การศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ โดยทำการแปรค่าปริมาณเปลือกไข่ดังนี้คือ 2.5 5 10 15 20 30 40 60 90 และ 120 กรัม/ลิตร เวลาที่ใช้ในการดูดซับคือ 300 นาที อุณหภูมิที่ใช้คือ 30 องศาเซลเซียส
5. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ โดยแปรค่าอุณหภูมิดังนี้คือ 30 ^{0}C 40 ^{0}C 50 ^{0}C และ 60 ^{0}C เวลาที่ใช้ในการดูดซับคือ 300 นาที ใช้ปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดลองข้อ 4
6. การศึกษาผลของเวลา เวลาที่ใช้ ดังนี้ คือ 30 60 120 180 240 และ 300 นาทีโดยใช้ปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 4 และใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม ที่หาได้จากการทดลองในข้อ 5
7. การนำปริมาณเปลือกไข่ อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษากับน้ำเสียสังเคราะห์มาใช้กับน้ำเสียที่ได้จากโรงงานชุบโลหะ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย (เดือน)
	มิ.ย. ก.ค. ส.ค. ก.ย. ต.ค. พ.ย. ธ.ค. ม.ค. ก.พ. มี.ค.
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	----------
2. วางแผนการทดลอง	----------
3. เตรียมอุปกรณ์และสารเคมี	----------
4. ทำการทดลอง	----------
5. รวบรวมและวิเคราะห์ผล	----------
6. จัดทำรูปเล่ม	----------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์

2 สามารถนำสภาวะที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะได้

3 ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของเปลือกไข่ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เปลือกไข่ (ศิริพร,2544)

2.1.1 ลักษณะสำคัญของเปลือกไข่

เปลือกไข่ธรรมดา

เป็นเปลือกไข่ที่ทำการลอกเนื้อเยื่อด้านในออก ดังนั้นองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่ชนิดนี้ประกอบด้วย ผลึกแคลเซียม ($CaCO_3$) และเส้นใยโปรตีนชนิดต่างๆจากเยื่อชั้นนอกที่ยังติดเปลือกไข่อยู่ เส้นใยโปรตีนเหล่านี้จะมีหมู่ฟังก์ชัน carboxyl (-COOH) และหมู่ amine ($-NH_2$)คอยทำหน้าที่ในการจับกับอิออนทองแดงและนิกเกิลได้

2.1.2 คุณสมบัติของเปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นวัสดุธรรมชาติที่ถูกทิ้งเป็นของเสียจำนวนมาก เนื่องจากความต้องการในการบริโภคไข่มีมากขึ้นในแต่ละปี จะเห็นว่าในแต่ละปีจะมีปริมาณเปลือกไข่ที่ถูกทิ้งเป็นของเสียจำนวนมาก และเนื่องจากการศึกษาคุณลักษณะของเปลือกไข่ พบว่า เปลือกไข่สามารถจับอิออนของโลหะหนักต่างๆได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเปลือกไข่เหล่านี้ มาผลิตเป็นวัสดุดูดซับสารละลายทองแดงและนิกเกิล สำหรับองค์ประกอบและลักษณะสำคัญที่ทำให้เปลือกไข่สามารถจับไอออนดังกล่าวได้นั้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.3 โครงสร้างของเปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นส่วนที่สำคัญ ทำหน้าที่ในการช่วยรักษาคุณภาพภายในไข่ไม่ให้เสียได้ง่าย โดยยอมให้อากาศผ่านเข้าออกได้ แต่จะป้องกันการระเหยของน้ำที่เป็นองค์ประกอบของไข่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ไข่ไก่ 1 ฟอง (น้ำหนัก 58 กรัม) จะมีเปลือกไข่เฉลี่ย 6.1 กรัม (10.52% ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง) เปลือกไข่เหล่านี้จะมีลักษณะเป็นผลึกธาตุปูนที่ประกอบด้วย 2 กลุ่มใหญ่ โดยกลุ่มแรกเป็นอินทรีย์สาร (4%ของน้ำหนักเปลือกแห้ง) ที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างโครงตาข่ายโปรตีนหรือเมทริกซ์อินทรีย์ (organic matrix) ส่วนกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย อนินทรีย์สารต่างๆ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 94% แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca(PO_4)_2$) 1% และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) 1% ของน้ำหนักเปลือกแห้ง สำหรับค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์เปลือกไข่ต่อฟองโดยประมาณมีค่าดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของเปลือกไข่หนึ่งฟอง(สุวรรณ,2529)

องค์ประกอบ	น้ำหนัก (g)	ร้อยละ
น้ำ	0.1	1.60
วัตถุแห้ง	6.0	98.40
* อินทรียวัตถุ	0.2	3.30
- โปรตีน	0.2	3.30
- ไขมัน	น้อยมาก	0.03
* อนินทรียวัตถุ	5.8	95.10
รวม	6.1	100

สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญของเปลือกไข่ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ส่วนเคลือบผิว (cuticle) และรงควัตถุ (pigment)

เป็นส่วนนอกสุดที่มีลักษณะบางใสเคลือบอยู่ที่ผิวนอกสุดของเปลือกไข่ องค์ประกอบโดยน้ำหนักประกอบด้วย โปรตีน 58 - 87 % คาร์โบไฮเดรต 3.5-4.4% ไขมัน 2.5-3.5% และเถ้า 3.5% ในส่วนของ cuticle นี้จะทำหน้าที่อุดรูเปลือกไข่ ทำให้เปลือกไข่สามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ในส่วนนี้จะมีรงควัตถุ(pigment) ที่เกิดจากวัตถุสีของเม็ดเลือดแดง (porphyrin) ปะปนอยู่กับเกลือแคลเซียมของเปลือกไข่ จึงทำให้มีสีเกิดขึ้นที่ผิวของเปลือกไข่นั้น

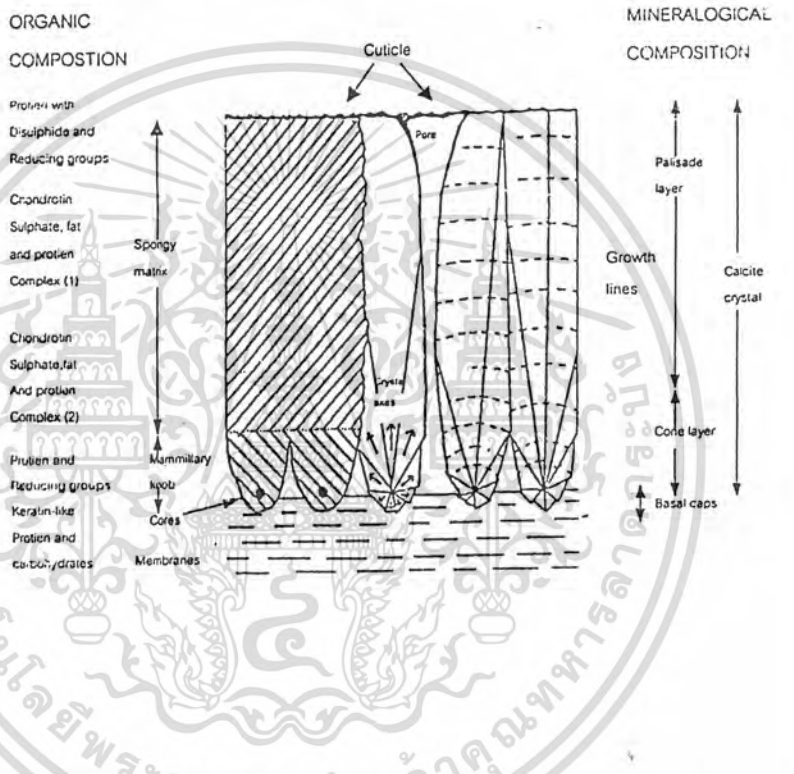
2) เปลือกไข่ (true shell)

2.1)เปลือกไข่ชั้นนอกหรือชั้นฟองน้ำ (outer shell/spongy matrix)

เป็นส่วนที่อยู่ถัดเข้ามา หรือเป็นส่วนที่ถูก cutiicle เคลือบอยู่ ซึ่งเป็นชั้นที่ผลึกกันแน่น และมีรูเล็กๆจำนวนมากเชื่อมโยงจากชั้นในมาเปิดที่ชั้นนี้ ทำให้เปลือกชั้นนอกมีลักษณะมีรูพรุนแบบฟองน้ำ สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญในชั้นนี้ประกอบด้วยผลึกแคลเซียมที่หนาแน่นรวมเข้ากับเมทริกซ์อินทรีย์ (organic matrix) โดยเมทริกซ์อินทรีย์ เหล่านี้จะมีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียด (หนา 0.01μ m และยาว 10μ m)กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเปลือกไข่ และเป็นสารจำพวก protein-acid mucopolysaccharide complex ที่ประกอบด้วยโปรตีนจำพวก Non-collagenous (ประมาณ70 %

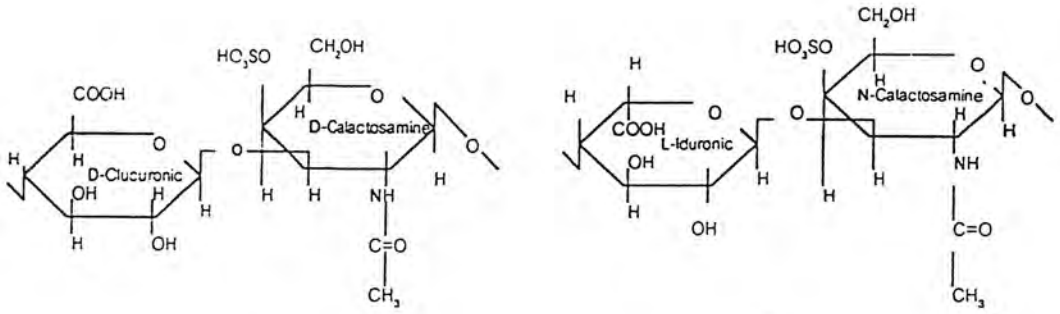
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยน้ำหนัก) คาร์โบไฮเดรตหรือ Polysaccharide ชนิด Chondroitin sulphate A และ B (รูปที่ 2.2) และกรดยูโรนิกในรูป hyaluronic acid (รูปที่ 2.3) นอกจากนี้ยังมี กาแลคโตซามีน (galactosamine) กาแลคโตส (galactose) แมนโนส (mannose) ฟิวโคส (fucose) และ sialic acid เป็นต้น ซึ่งเมทริกซ์อินทรีย์เหล่านี้จะมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆเช่น หมู่ carboxyl (-COOH) และหมู่ amine ($-NH_2$) จึงมีผลทำให้เปลือกไข่มีคุณสมบัติในการจับกับไอออนต่างๆได้



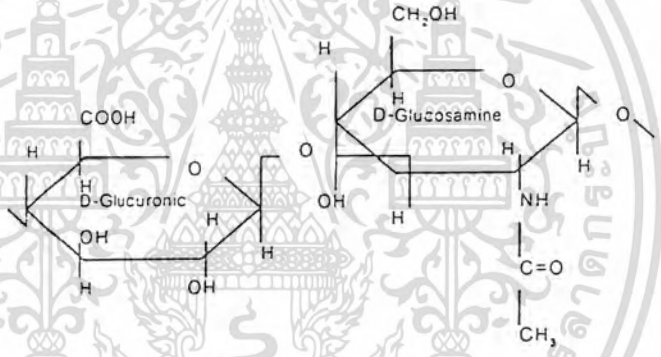
รูปที่ 2.1 ภาคตัดขวางของเปลือกไข่แสดงสารประกอบอินทรีย์ (ด้านซ้าย) และโครงสร้างผลึกอนินทรีย์สาร (crystalline structure) (ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ก. โครงสร้างสารครอนดรอยทิน ซัลเฟต เอ (chondroitin sulfate A)

ข. โครงสร้างสารครอนดรอยทิน ซัลเฟต บี (chondroitin sulfate B)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างกรดไฮยาลูโรนิก (hyaluronic acid)

2.2) เปลือกไข่ชั้นใน (mammillary layer)

ชั้นนี้จะอยู่ถัดเข้ามาจากเปลือกไข่ชั้นนอก ประกอบด้วยสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟตที่ไม่อยู่ในรูปผลึก เป็นชั้นหนาประมาณ 0.11 mm. หรือเป็นเนื้อที่ประมาณ 1/3 ของความหนาของพื้นผิวไข่ทั้งฟอง มีลักษณะเป็นปุ่มหยาบๆ ครึ่งวงกลมหรือรูปกรวยที่ประกอบด้วยผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตรูป 6 เหลี่ยม (hexagonal plates) โดยในแต่ละปุ่มพื้นเปลือกจะมีสารอินทรีย์รวมเข้าไปกับส่วนที่เป็นชั้นฟองน้ำ ซึ่งจะเชื่อมกับเส้นใยของเยื่อเปลือกไข่ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulphide bond) และพันธะไฮโดรเจน ขนาดและรูปร่างของปุ่มพื้นเปลือกและการเรียงตัวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นเปลือกจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก แต่ละปุ่มมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.096-0.144 mm. ส่วนความสูงจะขึ้นกับความหนาของเปลือกชั้นใน

3) เยื่อเปลือกไข่ (shell membrane)

โดยส่วนใหญ่ในชั้นนี้จะประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนมากถึง 95% ซึ่งจะเป็นโปรตีนชนิดเคราติน (keratin) คอลลาเจน (collagen) และ อิลาสติน (elastin) ซึ่งจะประสานกันและยึดติดกันแน่นกับเปลือกไข่ เส้นใยเหล่านี้จะมีหมู่ amine ($-NH_2$) ทำหน้าที่ในการจับกับไอออนของโลหะหนักนั่นเอง นอกจากนี้ในชั้นนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน 3% คาร์โบไฮเดรต 2% และเถ้าประมาณ 2% ซึ่งเป็นพวก ฟอสเฟต แคลเซียม โปรแตสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส ทองแดง โบรอน และอะลูมิเนียม สำหรับเยื่อเปลือกไข่ในชั้นนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นด้วยกันคือ

3.1) เยื่อชั้นใน (inner membranes)

เป็นชั้นบางเรียบ หนาประมาณ 2.7 μm ทำหน้าที่ล้อมรอบไข่ขาว โดยทั่วไปเยื่อชั้นในและชั้นนอกจะเชื่อมติดกัน ยกเว้นเมื่อไข่มีอายุมากขึ้นส่วนที่ป้านของเปลือกไข่จะเกิดเป็นช่องอากาศของไข่ (air cell)

3.2) เยื่อชั้นนอก (outer membranes)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือก เยื่อชั้นนี้จะติดแน่นกับเปลือกชั้นในและขนานไปกับเปลือกไข่ เยื่อชั้นนอกนี้แบ่งออกเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นประสานกันด้วยร่างแหโปรตีน ชั้นนอกสุดเป็นเส้นใยโปรตีนพวกเคราติน (keratin) มีลักษณะเป็นเส้นแบน (ribbons) ขนาด 0.002-0.015 mm. เส้นใยชั้นกลางส่วนใหญ่เป็นมิวซิน (mucin) ประสานกันขนานกับเปลือกไข่ขนาด 0.008 mm. ลักษณะเป็น 2 ชั้นย่อยที่ติดกันแนบสนิทจนเกือบเป็นเนื้อเดียวกันและแยกออกจากกันได้ยาก ส่วนชั้นในจะเป็นกิ่งก้านสาขาของเส้นเคราตินเล็กๆประสานกันเป็นร่างแห ขนานกับผิวไข่บ้าง ตั้งฉากกันบ้าง ช่วยให้ชั้นนี้เหนียวขึ้น และมีความหนาประมาณ 0.0148 mm. สำหรับเปลือกไข่ธรรมดาที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย จะยังคงมีเยื่อชั้นนอกติดอยู่กับเปลือกไข่ ส่วนเยื่อชั้นในนั้นจะถูกลอกออกไป

4) รูเปลือกไข่ (pores)

รูเปลือกไข่ จะเชื่อมโยงจากภายนอกเข้าไปถึงเยื่อเปลือกไข่ สำหรับรูที่ผ่านเปลือกชั้นในออกมานั้นจะมีขนาดเล็กที่สุด แล้วเปิดกว้างเป็นแฉกผายออกที่ผิวของเปลือกชั้นใน บางรูจะถูกอุดตันหรือถูกปิดด้วยเส้นใยโปรตีน ทำให้รูกระชับเป็นรูปทรงอยู่ได้ โดยรูขนาดใหญ่สุดมีขนาด 0.022-0.029 mm. ส่วนรูขนาดเล็กสุดจะมีขนาด 0.0038-0.0054 mm. จำนวนรูของไข่ไก่มีประมาณ 7000-17000 รู/ฟอง สำหรับไข่เป็ดจะมีจำนวนรูต่อตารางเซนติเมตรมากกว่าไข่ไก่ หรือแม้แต่ในไข่ต่างพันธุ์กันจะมีจำนวนรูต่างกัน และในแต่ละพื้นที่ของเปลือกไข่จะมีจำนวนรูไม่เท่ากัน โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกไข่ส่วนด้านป้านจะมี 125.6 รูต่อตารางเซนติเมตร ตรงกลาง 106.1-113.4 รูต่อตารางเซนติเมตร และด้านแหลม 73.7รูต่อตารางเซนติเมตร

2.2 กระบวนการดูดซับ (สมบูรณ์, 2543)

กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซโดยอาศัยกระบวนการการเคลื่อนย้ายมวลสารของตัวถูกดูดซับ(adsorbate) จากเฟสที่เป็นของเหลวหรือก๊าซไปยังเฟสที่เป็นของแข็ง ซึ่งก็คือตัวดูดซับ(adsorbent) ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกดูดซับ บนผิวของตัวดูดซับนั้น กระบวนการดูดซับนี้จะไม่รวมถึงกระบวนการการตกตะกอนที่พื้นผิว (surface precipitation process) หรือ กระบวนการโพลิเมอร์ไรซ์เซชัน (polymerization process) ซึ่งถ้าไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารลดลงไปนั้น เกิดจากกระบวนการดูดซับ กระบวนการโพลิเมอร์ไรซ์เซชัน หรือจากกระบวนการอื่นๆแล้ว อาจเรียกกระบวนการนี้ว่า Sorption process สำหรับแรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แรงด้วยกัน คือ

1) <u>แรงทางกายภาพ(physical force)</u> แบ่งออกเป็น 2 แรง คือ

1.1) แรงวานเดอร์วาลล์ (van der waal's force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้ว สามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอนที่ไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็คตรอนในแต่ละบริเวณที่อยู่ภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ (desorption) จะเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

1.2) แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force)

เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ระหว่างสารที่ไม่มีขั้วกับสารที่มีขั้วด้วยกัน หรือระหว่างสารที่มีขั้วกับไม่มีขั้ว (รูปที่ 2.4) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (orientation effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

ข) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย (dispersion effect) ซึ่งเห็นผลจากการที่โมเลกุลที่ไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็คตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อโมเลกุลที่ไม่มีขั้วมีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามา จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ซึ่งแรงนี้มักเป็นแรงอ่อนๆ เช่น แรงดึงดูดระหว่างสารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องจากการเหนี่ยวนำ (induction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงข้าม ทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน

2. แรงทางเคมี (chemical force)

เกิดจากการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนของสารกับตัวดูดซับ แล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนใหม่ขึ้น เช่น การดูดซับระหว่างหมู่โลหะทรานซิชันกับหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีพันธะเคมีหรือแรงทางเคมีเกิดขึ้น เกิดจากการใช้อิเล็คตรอนร่วมกันหรือเกิดจากการให้ อิเล็คตรอน หรือการแลกเปลี่ยนอิเล็คตรอนซึ่งกันและกัน จึงมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนของสารกับหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าแรงทางกายภาพและจากแรงทางเคมี จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (irreversible)

2.2.1 ลักษณะการดูดซับ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

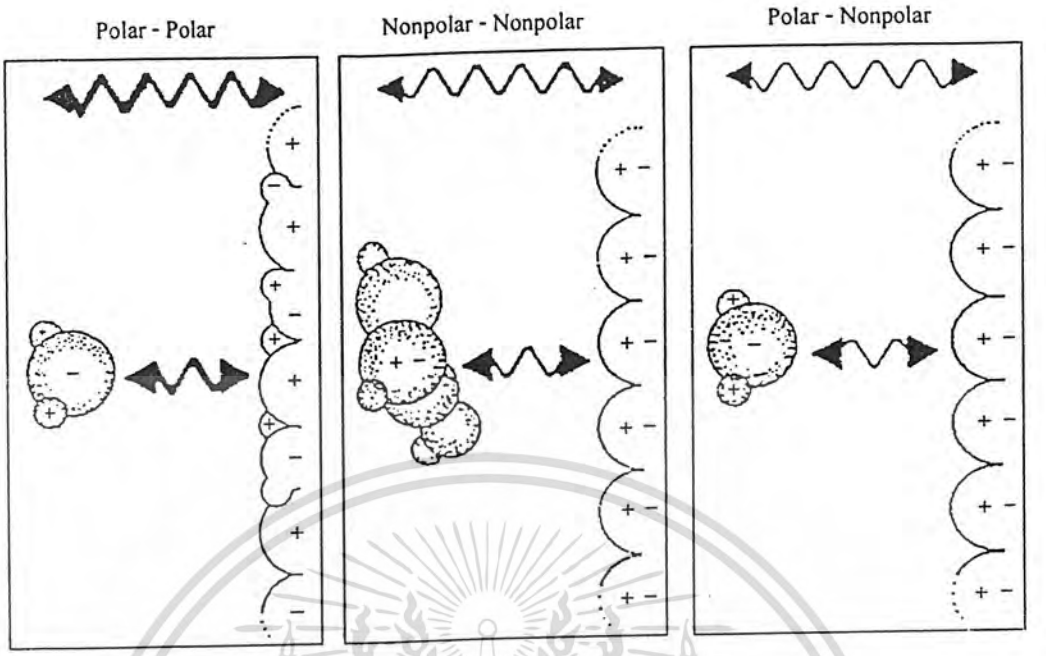
2.2.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption)

เป็นการดูดซับระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับในสารละลาย ด้วยแรง van der waals adsorption ซึ่งจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้นโมเลกุลของสารจะยึดติดกันแน่นบนพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ถึงแม้ว่าความดันของระบบจะต่ำกว่าความดันไอของระบบนั้นก็ตาม ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิของระบบจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เกิดการผันกลับ (reversible interaction) ทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนออกจากตัวดูดซับนั้น และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Desorption

2.2.1.2 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption or chemisorption)

เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับ โดยการสร้างสารประกอบใหม่ระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นผิวของตัวดูดซับนั้น ทำให้ปริมาณของตัวดูดซับลดลง และเนื่องจากการดูดซับเกิดเฉพาะบนพื้นที่ผิวบางแห่ง ทำให้องค์ประกอบที่ถูกดูดซับไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับมีปริมาณน้อยกว่าการดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับแบบนี้ไม่สามารถเกิด desorption ได้ เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) ปรากฏการณ์นี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าองค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



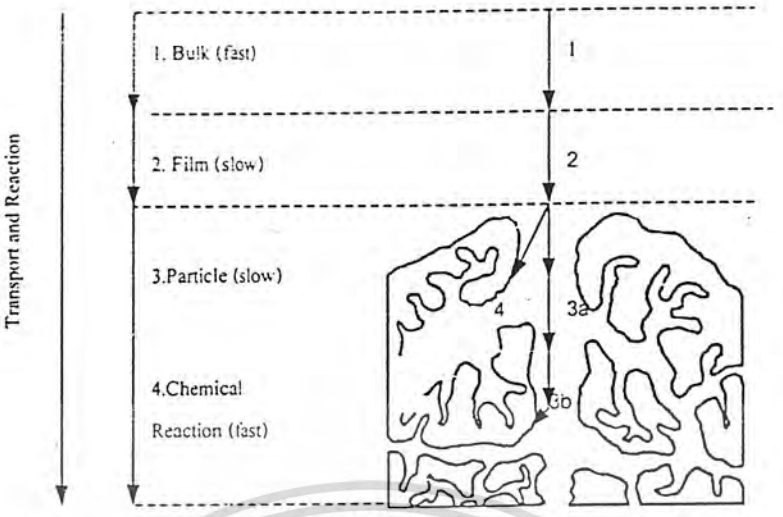
รูปที่ 2.4 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์

2.2.2 กลไกการดูดซับ

สำหรับกลไกการดูดซับหรือการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ไปยังตัวดูดซับ (adsorbent) นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน (รูปที่ 2.5) คือ

1) Bulk Transport เป็นขั้นแรกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) จะเคลื่อนที่จาก bulk solution ไปยังผิวหน้าของฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ
2) External Diffusion or Film Diffusion การที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ข้ามผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวหน้าของตัวถูกดูดซับนั้น
3) Interparticle Diffusion or Pore Diffusion การที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ
4) Adsorption เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่โมเลกุลของสารจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารในกระบวนการดูดซับ (adsorption process) (สมบูรณ์,2543)

2.2.3 สมดุลการดูดซับ

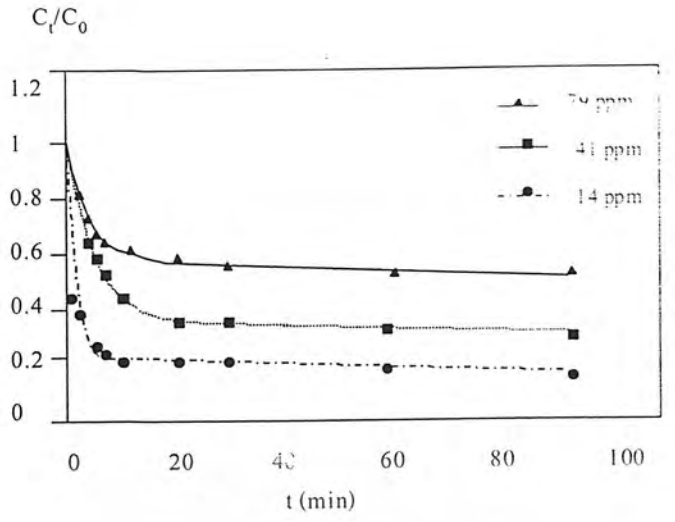
การดูดซับด้วยของแข็งที่เกิดขึ้นในสารละลาย (liquid-solid adsorption) จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของของแข็ง เมื่อกระบวนการดูดซับดำเนินไปเรื่อยๆจะมีการคายตัว (desorption) เกิดขึ้นพร้อมๆกัน จนในที่สุดจำนวนของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับกับที่คายออกไม่จะเท่ากัน ผลที่ตามมาก็คือ อัตราการดูดซับรูและอัตราการคายตัวจะเท่ากัน หรือระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ เรียกว่า สมดุลของการดูดซับ (equilibrium adsorption)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจลนพลศาสตร์การดูดซับ

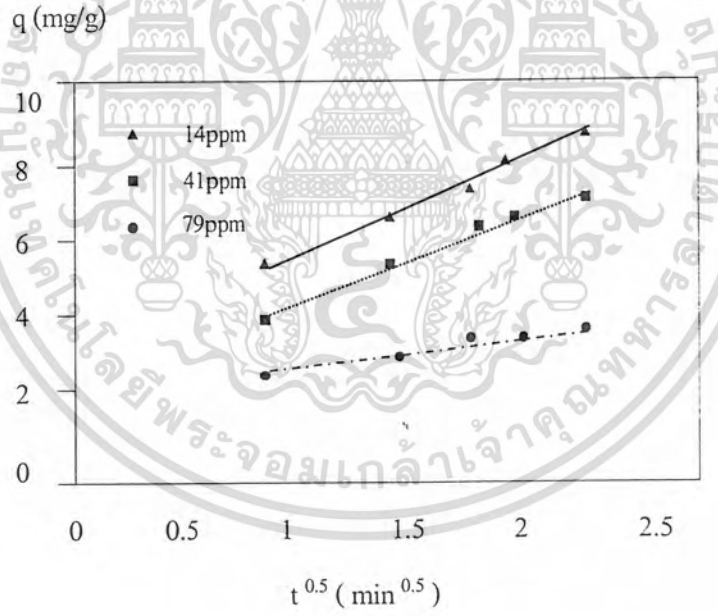
1) <u>ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ</u>

เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ผิวของตัวดูดซับ ดังนั้นการดูดซับจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้น กล่าวคือในกรณีที่น้ำหนักเท่ากันตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่าจะมี พื้นที่ผิวมากกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่และมีผลทำให้ตัวดูดซับขนาดเล็กเกิดการดูดซับได้เร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_t / C_0 กับเวลาในการดูดซับ Cu(II) ด้วยผักตบชวาที่ความ เข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ(สมบูรณ์,2543)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ $t^{0.5}$ ในการดูดซับ Cu(II) ด้วยผักตบชวาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ(สมบูรณ์,2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) โครงสร้างรูพรุนของตัวดูดซับ

สำหรับ Intrapaticle Diffusion หรือขั้นที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนนั้น ความลึก ความยาว และขนาดของช่องรูพรุนของตัวดูดซับ จะมีผลต่อปริมาณการดูดซับ

3) ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกแยกออกจากน้ำไปเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับ สารที่ละลายหรือแตกตัวเป็นอิออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงทำให้ยากต่อการดูดซับ ส่วนสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย จะสามารถติดบนผิวตัวดูดซับได้ดี

4) ปริมาณความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับหรือสารละลาย

ดยทั่วไปแล้วอัตราเร็วของการดูดซับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย คือ อัตราการดูดซับเพิ่มขึ้น และอัตราการดูซับจะลดลงเมื่อความเข้มข้นลดลง

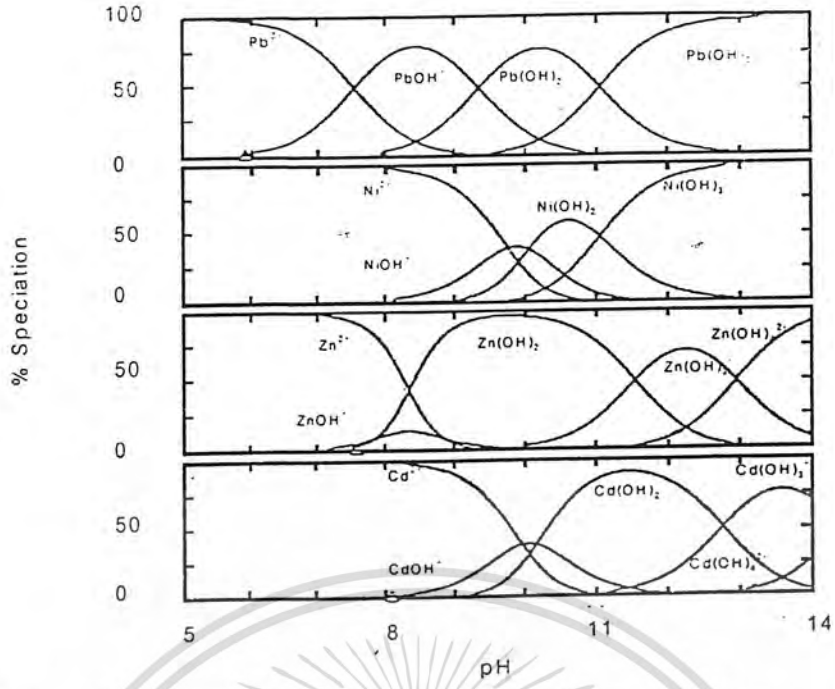
5) อัตราเร็วของการกวน

ความเร็วในการเลื่อนที่ของตัวดูดซับข้ามผ่านชั้นฟิล์มนั้น (film diffusion) ขึ้นกับความหนาของชั้นฟิล์ม ซึ่งหากฟิล์มยิ่งหนามากเท่าใดจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านมากขึ้น และส่งผลให้กระบวนการดูดซับเกิดช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากไม่มีการกวนสารละลายเลย จะยิ่งทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มระหว่างของแข็งกับของเหลวมีมาก ส่งผลให้ขั้น film diffusion เป็นขั้นกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา เช่น ในงานวิจัยของ Krisnan และคณะ ซึ่งได้ทำการศึกษาการดูดซับ Cd^{2+} ด้วยใบธูปฤาษี (cattails) ในระบบที่มีการกวนและไม่กวนสารละลาย พบว่าการกวนจะช่วยให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า

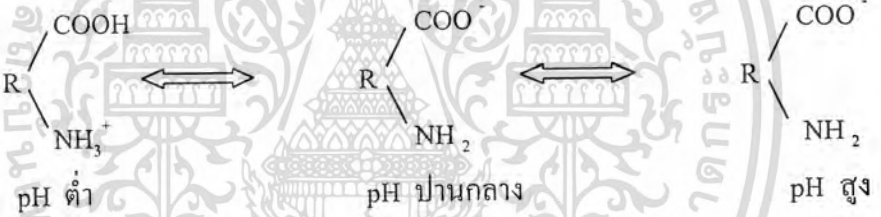
5) ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

เนื่องจาก pH มีผลต่อการแตกตัวของอิออนหรือรูปแบบ (species) ของโลหะหนัก เช่น อิออนของโครเมียม (Cr^{3+}) ตะกั่ว (Pb^{2+}) นิเกิล (Ni^{2-}) สังกะสี (Zn^{2+}) และแคดเมียม (Cd^{2+}) เป็นต้น ดังรูปที่ 2. 8 (การแตกตัวของ Cr^{3+}) และรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 รูปแบบ (species) ของ Pb, Ni, Zn และ Cd ในสารละลาย pH ต่างๆ (สมบูรณ์,2543)



รูปที่ 2.9 แสดงการแตกตัวของโมเลกุลที่ pH ต่างๆ(สมบูรณ์,2543)

ดังนั้นในการศึกษาการดูดซับแต่ละครั้ง จำเป็นต้องทำการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ

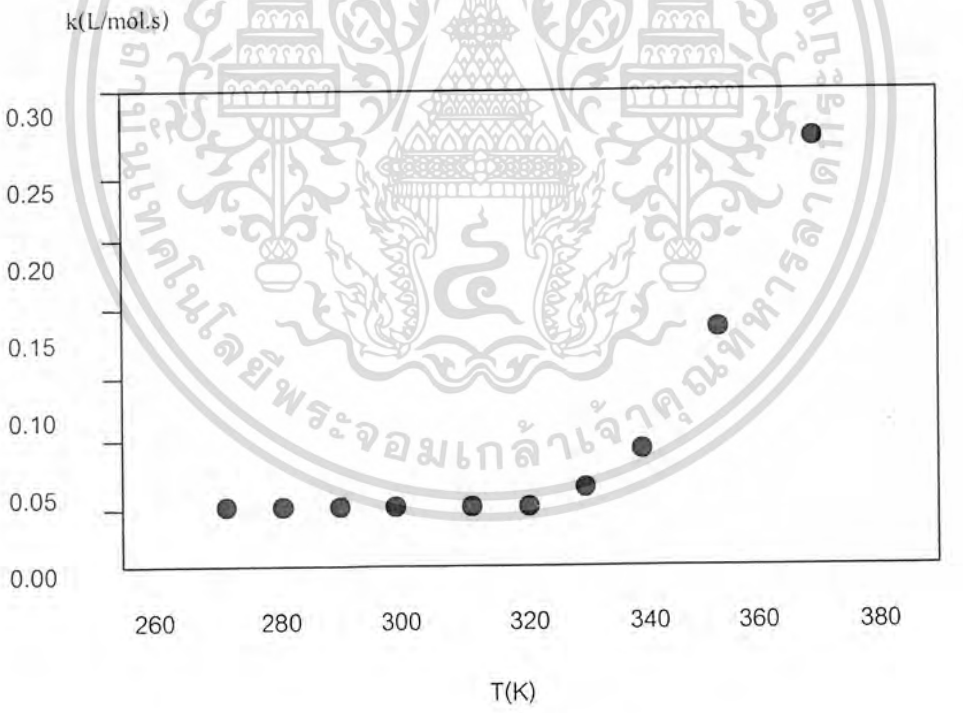
และนอกจากค่า pH ของสารละลายจะมีผลต่อการแตกตัวของอิออนโลหะหนักแล้ว ยังมีผลต่อประจุที่ผิวของตัวดูดซับด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุดูดซับโพลิเมอร์ธรรมชาติที่เป็นสารอินทรีย์ หรือแม้กระทั่งวัสดุดูดซับเปลือกไข่ธรรมดาที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ จะมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ หลายชนิดอยู่ที่ผิว เช่น หมู่ carboxylic (-COOH) และหมู่ amine ($-NH_2$) ซึ่งเมื่อหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้อยู่ในสารละลาย pH สูง หมู่ carboxylic (-COOH) ที่ผิวจะทำหน้าที่ให้โปรตอนแก่สารละลาย จึงมีผลทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีประจุเป็นลบ ในขณะที่สารละลาย pH ต่ำ หมู่ amine ($-NH_2$) ที่ผิวจะทำหน้าที่รับโปรตอนจากสารละลาย จึงมีผลทำให้พื้นผิวของตัวดูดซับมีประจุเป็นบวกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น สำหรับในสารละลาย pH เป็นกลางนั้น ประจุลบและประจุบวกจะมีปริมาณเท่ากัน (netsurface charge = 0)

7) <u>อุณหภูมิของสารละลาย</u>

อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเกิดช้าหรือเร็วนั้น ขึ้นกับอุณหภูมิของสารละลาย กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มจำนวนโมเลกุลของสารที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานต่ำสุดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา (พลังงานกระตุ้น, E_a) ดังรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าระบบที่มีความเข้มข้นของสารเท่ากัน 2 ระบบนั้น จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานกระตุ้น (ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ใต้กราฟ) ของระบบที่มีอุณหภูมิสูงจะมีมากกว่าจำนวนโมเลกุลที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงเป็นการเพิ่มจำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานกระตุ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลเหล่านี้จะมีผลทำให้ปฏิกิริยามีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การทำปฏิกิริยากันระหว่าง iodide ion (I) กับ methyl bromide (CHBr) ในสารละลาย พบว่าเมื่ออุณภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้ rate constant (k) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 ผลของอุณภูมิที่มีผลต่อค่า rate constant (k) ของปฏิกิริยาระหว่าง iodide (I^-) กับ methyl bromide (CH_3Br) ในสารละลาย(สมบูรณ์,2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาพลังงานกระตุ้น

จากรูปที่ 2.11 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อ rate constant (k) คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า k เพิ่มขึ้น สามารถใช้ Arrhenius Equation แสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1 และเมื่อนำ จะทำให้ทราบว่าสมการ Arrhenius Equation มีความสัมพันธ์กับกฎอัตรา (rate law) ดังสมการที่2.2

$$k = Ae^{-Ea/RT} \qquad (2.1)$$

$$\text{Reaction rate} = Ae^{-Ea/RT}[A]^m \qquad (2.2)$$

(จาก reaction rate $= -d[A]\,dt = k[A]^m$)

โดยที่ k = อัตราปฏิกิริยา

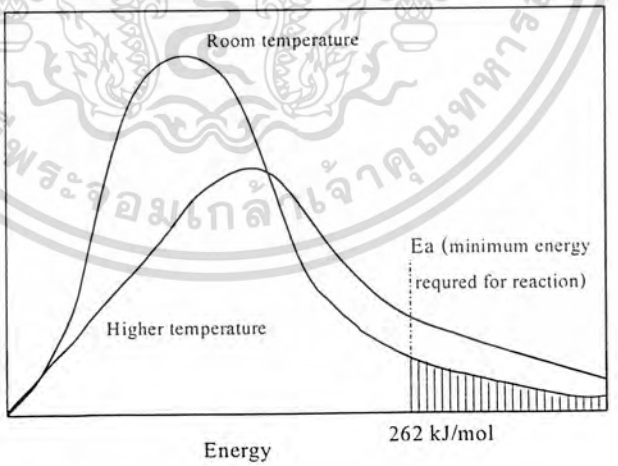
E_a = พลังงานกระตุ้น (หน่วย J/mol)

R = 8.3143 J/mol .K

T = อุณหภูมิเคลวิน (หน่วยเคลวิน, K)

A = Frequency factor (ค่าคงที่ ขึ้นกับโอกาสของการชนและมุมในการชนของโมเลกุล)

m = อันดับของปฏิกิริยา (order of reaction)



รูปที่ 2.11 Energy distribution cure ของปฏิกิริยาระหว่าง iodide (I^-) กับ methyl-2-butene ที่อุณหภูมิต่างกัน (Ea of butane = 262 kJ/mol)(สมบูรณ์,2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

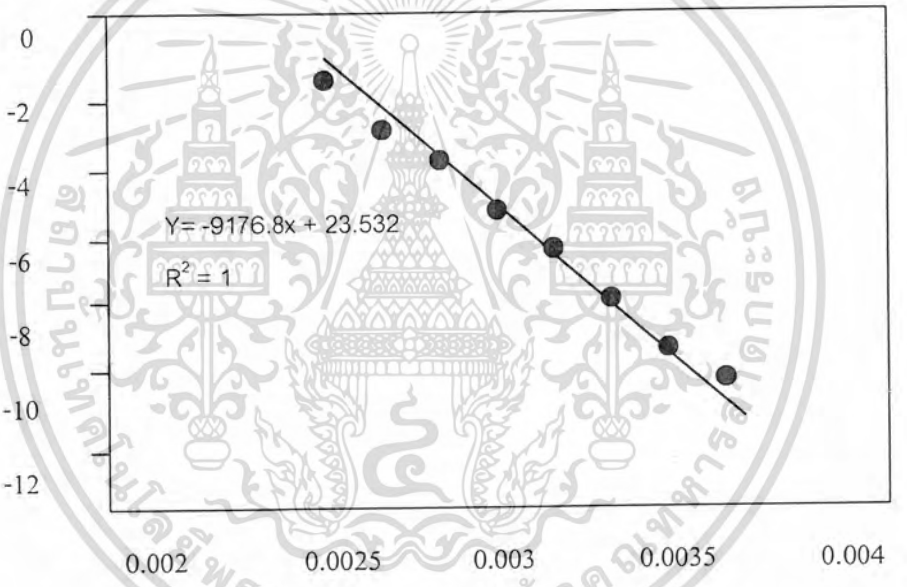
49250

เมื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln (k) (แกน y) กับ 1/T (แกน x) สามารถหางานกระตุ้น (E_a) และค่า Frequency Factor (A) โดยความชันของกราฟ คือ E_a/R และจากจุดตัดแกน y (ln (A)) ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.12 และ สมการที่ 2.4

$$ln(k) = \frac{E_a}{RT} - ln(A) \qquad (2.3)$$

หรือ

$$log(k) = log(A) - \frac{E_a}{2.303R} \cdot \frac{1}{T} \qquad (2.4)$$



รูปที่ 2. 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln(k) กับ1/T ของปฏิกิริยาระหว่าง iodide ion (I^-) กับ methyl bromide (CH_3Br)ในสารละลาย(สมบูรณ์,2543)

Freundlich ศึกษาปรากฏการณ์การดูดซับและได้แสดงว่าการดูดซับจากสารละลายสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$q = KC^{1/n} \qquad (2.5)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของโมเลกุลสารปนเปื้อนภายหลังการดูดซับ

q = มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารที่ใช้ดูดซับ

K และ n = ค่าคงที่ของสารแต่ละชนิดและอุณหภูมิหรือสามารถเขียนได้เป็น

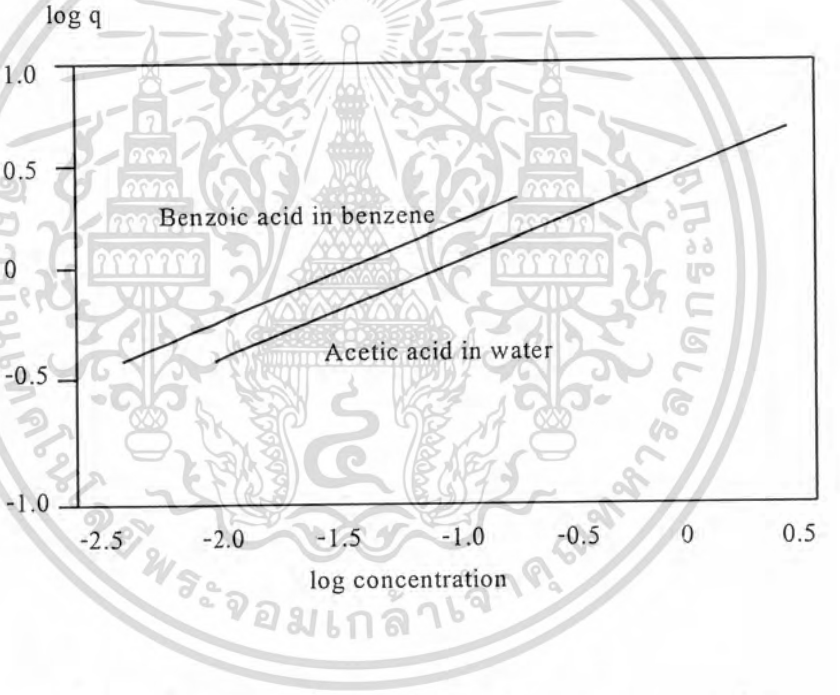
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\log q = \log K + (1/n) \log C \qquad (2.6)$$

เมื่อเขียนกราฟตามสมการ (2.5) ได้ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและนิยมใช้ในการหาการกำจัดโมเลกุลในสารละลาย รวมทั้งค่าคงที่ K และ n

สมการอื่นๆ ซึ่งมักใช้ในการอธิบายการดูดซับและหามาจากการพิจารณาตามหลักการพื้นฐาน ได้แก่สมการ Langmuir isotherm และ BET isotherm โดย Langmuir isotherm ใช้อธิบายการดูดติดผิวที่เป็นชั้นเดี่ยว (Single – Layer Adsorption) ดังนี้

$$\frac{C}{q} = \frac{a}{q_m} + \frac{C}{q_m} \qquad (2.7)$$



รูปที่ 2.13 การเขียนกราฟแบบลอการิทึ่มของการดูดติดผิวของสารละลายบนถ่าน (Charcoal)ที่อุณหภูมิและความดันคงที่(สมบูรณ์,2543)

เมื่อ C มีค่ามากเมื่อเทียบกับค่าคงที่ a ค่า q_m จะแสดงค่าการดูดซับสูงสุด (กรัมของสารปนเปื้อนต่อกรัมของสารดูดซับ)

เมื่อ q มีค่าใกล้เคียงกับ q_m โมเลกุลจะถูกดูดซับครอบคลุมพื้นผิวค่อนข้างสมบูรณ์ ถ้าเขียนกราฟของ C/q และ C จะได้กราฟเป็นเส้นตรง และจะสามารถหาค่า a และ q_m ได้ดังรูปที่ 2.14

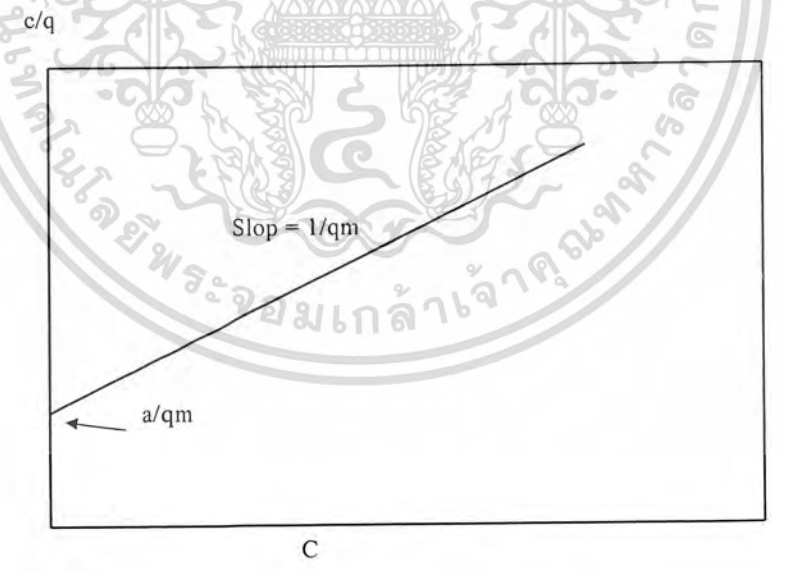
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน BET isotherm เป็นสมการการดูดซับที่มีการประยุกต์ใช้กันมากกว่าสมการ Langmuir isotherm และใช้กับการดูดซับแบบหลายชั้น แบบจำลองนี้ตั้งสมมติฐานโดยให้ชั้นของสารปนเปื้อนสะสมที่พื้นผิวของสารดูดซับ และใช้สมการ Langmuir isotherm กับแต่ละชั้น จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{q}{q_m} = \frac{bc}{(C_s - C)[1+(b-1)C/C_s]} \qquad (2.8)$$

ค่า C_s แสดงค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของสารปนเปื้อนในสารละลาย เมื่อ C มีค่ามากกว่า C_s มาก สารปนเปื้อนจะตกผลึกหรือข้นขึ้นเป็นของแข็งหรือของเหลวและมีความเข้มข้นมากบนพื้นผิว และสามารถเขียนสมการ BET ได้เป็น

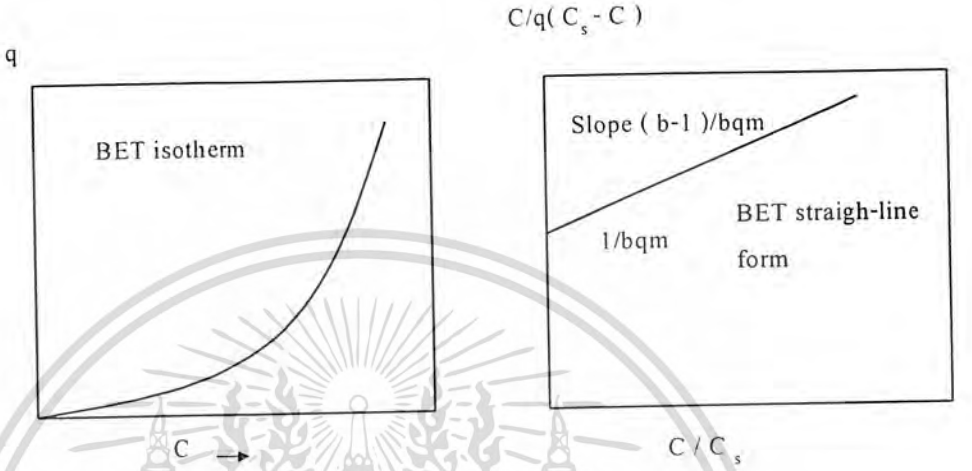
$$\frac{C}{Q(C_s-C)} = \frac{1}{bq_m} + \frac{(b-1)}{bq_m}\frac{(C/C_s)}{} \qquad (2.9)$$



รูป 2.14 กราฟเส้นตรงที่แสดงรูปแบบของ Langmuir isotherm(สมบูรณ์,2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า C_s และ b สามารถหาได้จากค่าความชันและจุดตัดของเส้นตรงจากกราฟซึ่งเขียนโดยใช้พจน์ซ้ายมือของสมการ (5) และ C/C_s กราฟของ BET isotherm และกราฟเส้นตรงแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงรูปแบบของ BET isotherm(สมบูรณ์,2543)

adsorption isotherm เป็นสมการสมดุลและใช้กับสภาวะที่เป็นผลหลังจากโมเลกุลของสารปนเปื้อนมีการสัมผัสกับสารดูดซับในเวลาที่เพียงพอให้เกิดสมดุลแล้ว อัตราซึ่งสารดูดซับที่เป็นของแข็งเป็นสิ่งที่สำคัญในการพิจารณาในกระบวนการทดสอบการกำจัดสารปนเปื้อนจากก๊าซหรือของเหลว ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับสามารถแยกได้เป็น 3 ลำดับ ได้แก่ ขั้นตอนที่โมเลกุลของสารปนเปื้อนเคลื่อนที่จากของเหลวหรือก๊าซผ่านชั้น boundary layer ในของเหลวไปยังชั้นนอกของสารดูดซับ จากนั้นโมเลกุลจะแทรกตัวไปยังช่องว่างของสารดูดซับด้วยการ diffusion ลำดับสุดท้าย โมเลกุลจะเกาะติดอยู่ที่พื้นผิวของสารดูดซับ ถ้าน้ำหรือสารละลายอยู่ในสภาวะนิ่งแล้ว การที่โมเลกุลจะแทรกตัวผ่านชั้น boundary layer ได้จะช้ามาก หากมีความปั่นป่วนของความหนาของชั้น boundary layer จะลดลง และอัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความปั่นป่วนอัตราการดูดซับจะคงอยู่ที่ค่าหนึ่งซึ่งเมื่อเพิ่มความปั่นป่วนอีกก็ไม่สามารถเพิ่มอัตราการดูดซับได้ ดังนั้นการเพิ่มความปั่นป่วนของของเหลวที่มีสารดูดซับอยู่จะสามารถเพิ่มอัตราการดูดซับได้หรือไม่นั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของสารปนเปื้อนและอัตราการแทรกตัวสัมพัทธ์ (relative rates of diffusion) ผ่านชั้น boundary layer ผ่านเข้าไปในช่องว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่สำคัญในการดูดซับ คือ ความสามารถในการละลายน้ำได้ของสารปนเปื้อน โดยสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมักสามารถเกาะติดผิวได้ดีเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำน้อยกว่าสารที่ละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลและอัตราการกระจายตัว diffusion ผ่านชั้น boundary layer ก็เป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณา สำหรับการดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) พบว่าไอออนถูกดูดติดผิวได้น้อยกว่าโมเลกุลที่เป็นกลาง สารอินทรีย์หลายชนิดจะมีประจุลบที่มีพีเอชสูง มีประจุบวกที่พีเอชต่ำ และเป็นกลางที่พีเอชช่วงกลางๆ โดยทั่วไปการดูดซับจะเพิ่มขึ้นที่ช่วงพีเอชมีประจุเป็นกลาง พีเอชยังมีผลต่อสารดูดซับโดยมีผลกระทบต่อประจุบนพื้นผิวรวมทั้งไปเปลี่ยนความสามารถในการดูดซับสารปนเปื้อน ในตัวอย่างน้ำหรือน้ำเสียจะมีสมบัติการดูดซับต่างกันเนื่องจากมรสารหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะไปแย่งกันติดที่ผิวของสารดูดซับ ด้วยเหตุนี้สารที่ใช้ดูดซับจะกำจัดโมเลกุลได้น้อยกว่ากรณีที่มีสารเพียงชนิดเดียวในสารละลาย

การใช้กระบวนการดูดซับในงานอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมากที่สุดประการหนึ่ง ก็เพื่อที่จะกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำหรือน้ำเสีย เช่น การกำจัดกลิ่นและสีที่เกิดจากสารอินทรีย์โลหะหนักต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ปบเปื้อนบางชนิด เช่น ไตรฮาโลมีเทน ยาฆ่าแมลง และสารประกอบอินทรีย์คลอรีนจากน้ำดื่ม การกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อนที่เหลือในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชน น้ำทิ้งขยะ น้ำเสียอุตสาหกรรม และของเสียอันตราย

2.3 นิกเกิล(สมบูรณ์,2543)

นิกเกิลเป็นโลหะที่อยู่ในหมู่ 8B ในตารางธาตุ มีเลขอะตอมเท่ากับ 28 มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 58.71 และมีเลขออกซิเดชั่นหลายค่าคือ 0 , I , II , III, และ IV นิกเกิลมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^6\ 3d^8\ 4s^2$ เนื่องจากรูปแบบของการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกแบบ $3d^8$ เป็นรูปแบบที่ความเสถียรมากที่สุด ดังนั้นนิกเกิลที่พบทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะอยู่ในรูปของนิกเกิลที่ประจุ +2 เป็นส่วนใหญ่

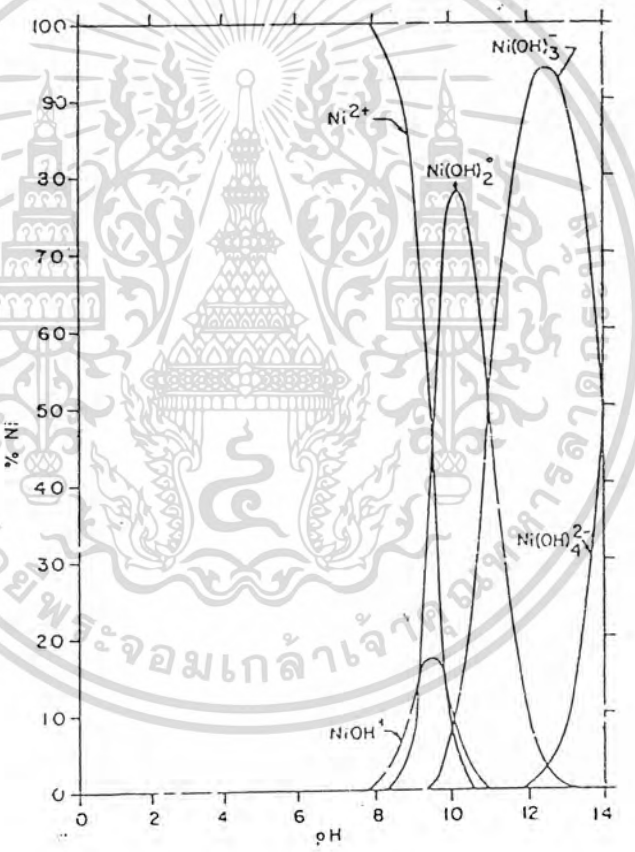
อิออนนิกเกิลประจุ +2 เป็นออกตะฮีดรัล โดยเชื่อมต่ออยู่กับโมเลกุลของน้ำ 6 โมเลกุล $Ni(H_2O)_6^{2+}$ ซึ่งเป็นลักษณะที่คล้ายกับอิออนของธาตุอื่นๆ ในทรานซิชั่น ที่ 1 ตามตารางธาตุ (V, Cr, Mn, Fe, Co) ในรูปที่ 2.15 แสดงการกระจายของสารประกอบนิกเกิลในรูปแบบต่างๆ ในลักษณะที่เป็นฟังก์ชั่นของพีเอช สำหรับสารละลายที่ไม่อิ่มตัว จะเห็นได้ว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ (พีเอชประมาณ 5-9)นิกเกิลอยู่ในรูป Ni^{2+} เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกเกิลส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยนำไปผสมโลหะอื่นๆเป็นโลหะอัลลอยด์ ส่วนนิกเกิลบริสุทธิ์จะใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผสมน้ำมันเบนซิน ใช้ในงานชุบโลหะ และใช้ใน อุตสาหกรรมเซรามิก

สำหรับความเป็นพิษของนิกเกิลจะเกิดเนื่องจากฝุ่นของนิกเกิลคาร์บอนิลซึ่งเป็นสาร ประกอบในการทำนิกเกิลบริสุทธิ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ การแพร่ กระจายของนิกเกิลในน้ำจะทำให้เกิดอาการผื่นคันที่ผิวหนัง

กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีค่า ความเข้มข้นของนิกเกิลไม่มากกว่า 1.0 มก./ล.



รูปที่ 2.16 การกระจายของสารประกอบนิกเกิล(พณจิตร,2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทองแดง(ชุติมา,2544)

ทองแดงเป็นหนึ่งในโลหะที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จัก และอาจเป็นโลหะชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ สันนิษฐานว่าต้นกำเนิดทองแดงอยู่ในบริเวณหุบเขาของแม่น้ำ Tigis และ Euphrates ได้มีการพบทองแดงในดินแดน Mesopotamia และอียิปต์ เมื่อ 4000 ปีก่อนคริสตกาล ก่อนการเกิดของราชวงศ์อียิปต์ที่อยู่ในช่วง 3200 ปีก่อนคริสต์กาล โดยมีการนำ Copper Carbonate มาใช้เป็นจุลสี (Pigment) อาวุธเช่น ขวาน รวมทั้งเครื่องมือหุงต้ม คำว่า Copper มาจากภาษาลาตินว่า Cuprum

ทองแดงถูกพบทั้งในรูปอิสระ และในรูปสารประกอบของ ซัลไฟด์ (Sulfide) ออกไซด์ (Oxide)และคาร์บอเนต (Carbonate)สินแร่พื้นฐานของทองแดงคือ ชาโคไพไรต์ (Chalcopyrite), $CuFeS_2$ ชาโคไซต์ (Chalcocite),CuS_2 และบอร์ไนต์ (Bornite), Cu_5FeS_4

2.4.1 คุณสมบัติทางเคมี

ทองแดงเป็นธาตุทางเคมี มีสัญลักษณ์ Cu มีเลขอะตอม 29 มีน้ำหนักอะตอม 63.546 ในตารางธาตุทองแดงจะอยู่ระหว่างธาตุนิกเกิล (Ni)และสังกะสี (Zn)อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชั่น แถวที่หนึ่ง และมีธาตุอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เรียกว่ากลุ่มโลหะ Coinage คือธาตุเงิน และทอง ค่า Electronic Configuration ของทองแดงคือ $[1s^1\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2]3d^{10}\ 4s^1$ หรือ [Argon] $3d^{10}\ 4s^1$อิเลคตรอน ใน 4s ทำให้ทองแดงมีสมบัติทางเคมีเหมือนธาตุโพแตสเซียม (P) ที่มี Electronic Configuration เป็น [Argon] $4s^1$ อย่างไรก็ตามทองแดงมีรูปทรงที่ต่างกับโพแตสเซียม ทองแดงมีค่า Ionization Potential ลำดับที่ หนึ่งสูงกว่าโพแตสเซียมแต่มีค่า Ionization Potential ลำดับที่สองและสามต่ำกว่าโพแตสเซียม

ตามปกติทองแดงจะไม่ทำปฏิกิริยา ไม่ละลายใน Nonoxidizing Acid เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ค่า Oxidation Potential ของปฏิกิริยาคือ –0.34 V ที่ 25 องศาเซลเซียส ทองแดงละลายใน Oxidizing Acid เช่นกรดไนตริก (HNO_3) หรือในตัวทำละลายเช่นไทโอยูเรีย(Thiourea),$=C(NH_2)_2$ ได้สารละลาย ที่เสถียรคือ Cu^{1+} ไอออนดังสมการ

$$Cu + 3S=(NH_2) + HCl \longrightarrow Cu[S=C(NH_2)_2]_3Cl + 1/2H_2$$

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

$$Cu + 4NH_3 + 1/2O_2 + H2O \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2OH^-$$

ไอออนของทองแดงที่พบบ่อย ๆ มี 2 รูป คือ Cu^{1+} และ Cu^{2+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cu^{1+} ไอออนมี Electronic Configuration เป็น [Argon] $3d^{10}$ปกติแล้วจะไม่มีสีเพราะมีอิเล็คตรอนอยู่เต็มใน d-shell การที่มีสีปรากฏในสารประกอบของ Cu^{1+} เนื่องจากแสงวิสิเบิล ทำให้อิเล็คตรอนถูกกระตุ้น จาก Cu^{1+} d Orbital ไปสู่ Orbital ที่ว่างของลิแกนด์หรือเกิดจากสีใน ตัวของลิแกนด์เอง สารประกอบของ Cu^{1+} ประกอบไปด้วยโมเลกุลหรือไอออน 2 หรือมากกว่า 2 จำนวนลิแกนด์ Coordination Number ส่วนมากจะเท่ากับ 4 Coordination Number 2 และ 3 พบน้อยขณะที่ Coordination Number 5 พบยากมาก และ Coordination Number 6ไม่เคยพบเลย

Cu^{2+} ไอออนมีอิเล็คตรอนใน d-shell ไม่เต็ม ทำให้สารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} มีสี และแสดงสมบัติแม่เหล็กเนื่องจากอิเล็ครอนที่ไม่เข้าคู่ สมบัติแม่เหล็กนี้ทำให้โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของ Cu^{2+}บิดเบี้ยวอย่างเห็นได้ชัด เกลือของ Cu^{2+} ละลายได้ดีในน้ำ และในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วชัด เช่น เมทานอล และ อะซิโตไนไตร์

2.4.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

โลหะทองแดงมีสีแดงหรือสีชมพู มีความต้านทางไฟฟ้า 0.15328 โฮมห์ต่อมิเตอร์ – กรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความนำไฟฟ้า (Specific Eletrical Conductivity) 60.0 เมตรต่อโฮมห์ตารางมิลลิเมตร มีค่าความแข็ง (Brinell Hardness, H_B) 35 x 10^3 นิวตันต่อตารางเมตร มีจุดหลอมเหลว (Melting Point) 1083 องศาเซลเซียส มีจุดเดือด (Boiling Point) 2595 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของโลหะทองแดงบริสุทธิ์ 8.9592 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Coefficient of Linear Expansion) 1.65 x10^{-5} ต่อองศาเซลเซียสที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนจำเพาะของของแข็ง (Specific Heat of the Solid) 0.092 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนจำเพาะของของเหลว (Specific Heat of the Liquid) 0. 112 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนจำเพาะในสถานะไอ (Specific Heat of the Vapor State) 0.08 แคลอรีต่อกรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส

ทองแดงในธรรมชาติมีไอโซโทป (Isotope) 2 ชนิดผสมกัน คือ ^{63} Cuและ ^{65} Cu ไอโซโทปอื่นที่รู้จักกันดีคือ ไอโซโทปที่มีเลขมวล 60, 61, 62, 64, 66, และ 67 ไอโซโทป ^{64}Cu เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี ที่มีค่าครึ่งชีวิต 12.8 ชั่วโมง

2.4.3 คุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน (Standard Electrode Potentials) ของการวิเคราะห์ที่น่าสนใจแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน (Standard Electrode Potentials) ของทองแดง(ชุติมา,2544)

Reduction	E°,v
$Cu(NH_2)_4^{+2} + 2e = Cu + 4NH_2$	-0.05
$Cu^{+2} + e = Cu^{+}$	0.167
$CuCl_2^{-} + e = Cu + 2Cl^{-}$	0.19
$Cu^{+2} + 2e = Cu$	0.3418
$Cu^{+2} + 2I^{-} + e = CuI_2^{-}$	0.690
$Cu^{+2} + I^{-} + e = CuI$	0.877

2.4.4 การนำทองแดงมาใช้ประโยชน์

ปัจจุบันได้มีการนำโลหะทองแดงมาเป็นส่วนผสมของสิ่งต่างๆ มากมายดังนี้

1. สิ่งก่อสร้าง (Architecture) เช่น ท่อระบายน้ำ (Gutter) มุงหลังคา (Roofing) มุ้งลวด (Screening) ตะแกรง (Grillwork) ผ้าม่าน (Screen Cloth) เหรียญตรา (Medallion)

2. ตัวขับเคลื่อน (Automotive) เช่น หม้อน้ำรถยนต์ (Radiator) ฝาสูบเครื่องจักร (Gasket) เครื่องสะท้อนเสียง (Reflator) แกนของ เครื่องฉายรังสี (Radiator Core)

3. อุปกรณ์ทางไฟฟ้า (Electrical) เช่น ลวดนำไฟฟ้า (Conductive – Wire Contact)มอเตอร์ (Motor) เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductor) หลอดอิเล็กตรอน (Electron Tube)ฝาครอบแบตเตอรี (Battery Cap) ปลอกแสงสัญญาณ (Flashlight Shell)

4. Hardware เช่น บัดกรีทองแดง (Soldering Copper)ลูกลอย (Ball Float) หมุดโลหะสำหรับตอกยึด(Rivet) หน้าปัดนาฬิกา(Clock Dial) สายปั๊ม (Pump Line) โซ่ (Chain) เครื่องมือดับเพลิง (Extinguishers) สกูร(Screw)

5. อุตสาหกรรม (Industrial) เช่น ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchanger) เครื่องระเหย (Evalator) เยื่อกระดาษ (Pulp and Paper Piping) แทงค์ (Tank) ท่อน้ำและท่อไอน้ำ (Steam and Water Piping)ตัวให้ความร้อน (Heater) เครื่องวัดรังสี (Radiator) หลอดคอนเดนเซอร์ (Condenser Tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การขนส่ง (Transportation) เช่น ถังหล่อเย็นน้ำมัน (Oil Cooler)

7. อุปกรณ์ที่ใช้ในการรบ (Mutions) เช่น หมุดติดลูกกระสุน (Firing – Pin Support Shell) ที่หุ้มลูกกระสุน (Bullet Jacket)ปลอกสายชนวน (Fuse Cap) สายจุดระเบิดให้เกิดประกายไฟ (Primer)

8. เครื่องสำอาง (Cosmetic) เช่น กล่องใส่สิปสติก (Lipstick Case) ตลับแป้ง (Compact)

9 อื่นๆ(Other) เช่น ใช้เป็นขั้วแอโนด (Anode)อุปกรณ์กระบวนการทางเคมี (Chemical Process Equipment)ที่หมุนเครื่องพิมพ์ (Printing) สายเครื่องวัด (Gauge Line) เครื่องประดับ (Costume Jewelry)

2.4.5 ความเป็นพิษ

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร Metabolism ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 mg/ วัน และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 100-150 mg ซึ่งทองแดงจำนวนนี้มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก โลหิตของเรามีทองแดงอยู่ด้วยเป็นที่ทราบกันว่าการสร้างฮีโมโกลบินต้องอาศัยทองแดงถึงแม้ไม่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเราต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงก็จะทำให้เกิดโทษและเป็นพิษได้ เช่น $CuSO_4$ 27g ทำให้ตายได้ ถ้ารับประทานปริมาณน้อยกว่านี้จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และสำลัก

ทองแดงเป็นธาตุจำเป็นต่อพืชด้วย เช่นจำเป็นต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และเอนไซม์ของพืช

2.4.6 ทองแดงกับสิ่งมีชีวิต

บทบาทของทองแดงในสิ่งมีชีวิต

1. มีบทบาทในขบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของพืช
2. เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในพืช
3. ใช้ในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ของพืชชั้นต่ำ เช่น สาหร่าย และฟังก์ไจ
4. การขาดทองแดงในพืช ทำให้พืชตาย ไม่สามารถผลิตเมล็ด ลดปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง
5. ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา
6. ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นในขบวนการเมตาบอริซึ่มในสัตว์ มนุษย์ผู้ใหญ่ต้องการ 2 มิลลิกรัมต่อวัน และในร่างกายจะมีทองแดง 100-150 มิลลิกรัม
7. ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงฮีโมโกลบินในสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำให้เกิดโรค Anemia ในสัตว์เนื่องมาจากมีธาตุทองแดงต่ำในอาหารสัตว์ ในสัตว์จำพวก วัว ควาย และแกะ การขาดธาตุอาหารทองแดงทำให้เกิดโรค Diarrhea Anemia
9. เกิดโรคประสาท เนื่องจากมีธาตุโมลิบดินั่มมากเกินไป ซึ่งไปยับยั้งการสะสมของทองแดงในตับมักเกิดกับสัตว์จำพวก วัว ควาย และ แกะ
10. เกิดโรค Reclamation ในพืชเนื่องจากการขาดทองแดงอย่างรุนแรง
11. อาการการขาดธาตุทองแดงในสัตว์ จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิด และอายุ แต่ที่ปรากฏอยู่เสมอ คือขนของสัตว์จะซีดลง
12. ใช้เป็นอาหารเสริมให้กับสัตว์ กรณีที่สัตว์ขาดธาตุทองแดงหรือเพื่อควบคุมปรสิตภายใน

2.4.7 โทษของทองแดงในสิ่งมีชีวิต

1. ดินที่มีทองแดงมากเกินไปจะเป็นพิษต่อพืช และสัตว์ตามห่วงโซอาหาร
2. การสะสมตัวของทองแดงในมนุษย์ทำให้เกิดอาการ อาเจียน ตะคริว และเกิดอาการชัก ถ้ามีปริมาณเท่ากับ 27 กรัม อาจทำให้เสียชีวิตได้ เรียกว่าโรค Wilsons
3. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากทองแดงรวมตัวกับ Thiol ของเอนไซม์
4. การสะสมของทองแดงในสัตว์เป็นเวลานาน ๆ ทำให้เกิดโรคไตวาย และโรคดีซ่าน

2.4.8 เทคโนโลยีการกำจัด

เทคโนโลยีที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ก็คือ เทคนิคการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ หรือตะกอนซัลไฟด์ หรือตะกอนคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังมีวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ion Exchange) ซึ่งวิธีนี้มีประโยชน์คือสามารถนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่ได้ และวิธีการระเหย(Evaporation)รวมทั้งวิธีการออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)เป็นต้น

2.5 การชุบโลหะ(ศิริพร,2544)

2.5.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือ การทำให้โลหะไปเคลือบเกาะบนโลหะอีกชนิดหนึ่งด้วยกรรมวิธีเคมี–ไฟฟ้า โดยจุ่มชิ้นงานที่จะทำการชุบลงในน้ำยาชุบ แล้วต่อเข้ากับขั้วลบของกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งเรียกว่าขั้วลบ (Cathode) และมีตัวล่อหรือขั้วบวก (Anode) ต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เมื่อไฟฟ้าครบวงจรก็จะเกิดการเกาะจับของโลหะที่ขั้วลบ (ชิ้นงาน) ดังแสดงในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

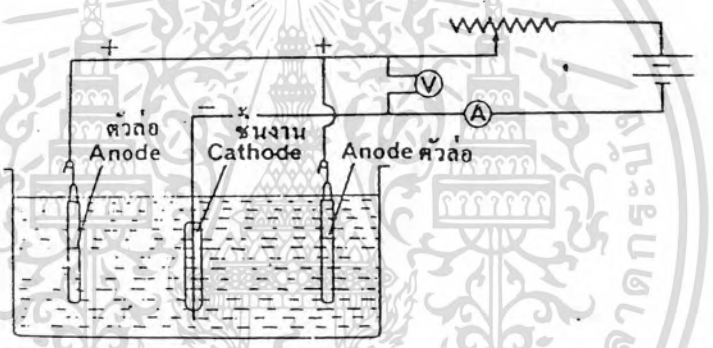
วัตถุประสงค์ของการชุบชิ้นงาน

- ความสวยงาม
- เปลี่ยนคุณสมบัติของผิวชิ้นงาน เช่น เพิ่มความแข็งแรง ป้องกันสนิม
- เพิ่มความหนาของชิ้นงานในกรณีที่ชิ้นงานสึกกร่อน

น้ำยาชุบโลหะแบ่งได้เป็นสองพวกคือ

พวกที่หนึ่ง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตรงตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นเพียงสะพานเพื่อให้กระแสผ่านเท่านั้น เช่น โลหะต่าง ๆ แกรไฟต์ ผงบรอนซ์ เป็นต้น

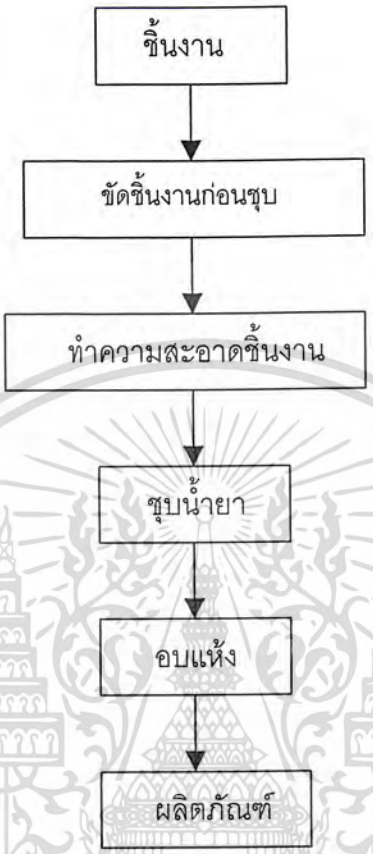
พวกที่สอง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน เช่น น้ำเจือกรด และสารละลายของเกลือต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.17 วิธีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า(ศิรพร,2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ขั้นตอนในการชุบโลหะ



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย(ศิริพร,2544)

ความซับซ้อนของขั้นตอนในการชุบโลหะจะขึ้นอยู่กับชนิดโลหะที่เป็นวัตถุดิบ และชนิดของผิวโลหะที่ต้องการ รูปแบบขั้นตอนการชุบชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2.18

การทำความสะอาดชิ้นงานเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะถ้าชิ้นงานไม่สะอาดอาจทำให้การชุบไม่ดีเท่าที่ควร การทำความสะอาดและกรรมวิธีของการเตรียมงานก่อนการชุบนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น

การขัดชิ้นงานก่อนชุบ แบ่งออกเป็นการขัดหยาบและการขัดละเอียด โดยการขัดหยาบเป็นการขัดขั้นแรก ซึ่งจะขัดเอารอยขูดขีดลึก ๆ หรือบริเวณไม่สม่ำเสมอออก ส่วนการขัดละเอียดเป็นการขัดต่อเพื่อลบรอยจากการขัดหยาบทำให้ชิ้นงานเรียบ

การกำจัดไขมัน หรือการทำความสะอาดขั้นแรกเป็นการเอาน้ำมันหรือไขมันออกจากผิวงานที่ทำการชุบด้วยการจุ่มชิ้นงานในไตรคลอโรเอทธีลีน (Trichoroethylene) ที่จุดเดือด 86 ^{o}C ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอระเหยของไตรคลอโรเอทธีลีนจะถูกกลั่นตัวอยู่บนผิวงาน และทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง

การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา เป็นการกัดสนิมเหล็กบาง ๆ เหล็กกล้า ทองแดง ทองเหลือง นิกเกิลเงา และทองแดงผสมอื่น ๆ ด้วนกรดกำมะถันเข้มข้น 5-10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือใช้กรดเกลือในอัตราส่วนกรด 1 ส่วนต่อน้ำ 5 ส่วน

การล้างด้วยน้ำด้างร้อน หลังจากผ่านการขัดผิวชิ้นงานแล้วควรจะล้างด้วยด่างร้อนก่อนเพื่อทำให้ชิ้นงานสะอาดหมดจดในการล้างขั้นต่อไป

การล้างด้วยไฟฟ้า คือการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงในน้ำยาด่างที่ร้อนประมาณ 60-90 ^{o}C แบ่งเป็น การล้างโดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วลบ (Anode Clean) เหมาะสำหรับชิ้นงานเหล็กและการล้างโดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วลบ (Cathode Clean) เหมาะสำหรับชิ้นงานที่ไม่ใช้เหล็ก
การทำความสะอาดด้วยเครื่องอุลตร้าโซนิค เป็นการทำความสะอาดด้วยระบบคลื่นความถี่สูงส่วนมากนิยมใช้กับชิ้นงานเล็ก เช่น ชิ้นส่วนของนาฬิกา กรอบแว่นตา เป็นต้น

2.5.3 การชุบนิกเกิล(อนันต์,2535)

นิกเกิลเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน นิยมนำมาใช้ในการชุบอย่างกว้างขวางที่สุด ประโยชน์ของการชุบนิกเกิลเพื่อรักษาและป้องกัน เนื้อโลหะที่ถูกชุบนั้นให้ทนอยู่ได้นานและแลดูสวยงามยิ่งขึ้น ปกติผิวโลหะที่ชุบด้วยนิกเกิลแล้วจะต้องชุบเคลือบทับบาง ๆด้วยโครเมียม หรือชุบทับด้วยทองแดง หรือเงินแล้วแต่ต้องการ นิกเกิลจะเป็นตัวรองพื้นไว้ก่อนและนิกเกิลมีตัวยาที่ทำให้เงาใส่ลงไปในน้ำยาชุบด้วยทำให้ชอบขึ้นมาเป็นเงาสวยงาม

ส่วนผสมของน้ำยา ได้แก่

- นิกเกิลซัลเฟต เป็นตัวให้นิกเกิลอิออน
- นิกเกิลคลอไรด์ ทำให้เกิดนิกเกิลอิออน และเพิ่มความนำไฟฟ้าใสน้ำยาชุบและช่วยให้ขั้วบวกละลายได้ดีขึ้น
- กรดบอริค ทำหน้าที่เป็นตัวปะทะเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในน้ำยาชุบ

การชุบนิกเกิลสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังต่อไปนี้

1) นิกเกิลด้าน (Dull Nickel) ปัจจุบันการชุบนิกเกิลด้านมีการชุบน้อย และใช้ชุบชิ้นงานที่ไม่เหมาะจะชุบนิกเกิลเงา
2) นิกเกิลกึ่งเงา (Semi-bright Nickel) ใช้ชุบรองพื้นก่อนชุบนิกเกิลเงาซึ่งนิกเกิลกึ่งเงานี้มีความเหนียวดีกว่านิกเกิลเงา และไม่เปราะ เนื่องจากว่ามีการใส่สารบางอย่าง เช่น Coumarin เพื่อให้เกิดการเหนียวแน่นบนผิวนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นิกเกิลเงา (Bright Nickel) นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะเพราะเป็นตัวชุบรองพื้นก่อนชุบโครเมียม ทองเหลือง เงิน หรือ ทอง

4) นิกเกิลดำ (Black Nickel) นิยมใช้ในงานประเภทเดียวกับงานรมดำ เช่น อาวุธ กรอบแว่นตา เป็นต้น ซึ่งไม่ต้องการให้สะท้อนแสง

5) นิกเกิลซาติน (Satin Nickel) การชุบโลหะชนิดนี้จะได้สีเหลือบเหมือนสีแพรหรือเหลือบเหมือนผิวไข่มุก โดยมากใช้กับเครื่องใช้ในบ้านซึ่งไม่ต้องการให้สะท้อนแสง

6) นิกเกิลแบบหนา (Heavy Electrodeposition of Nickel) การชุบนิกเกิลแบบนี้เป็นการชุบพอกแบบหนา อย่างเช่นให้ชิ้นงานที่สึกร่อนกลับมีความหนาเท่าเดิม ซึ่งใช้ในงานด้านวิศวกรรม

2.5.4 การชุบทองแดง(อนันต์,2535)

ทองแดงมีประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวขั้นแรกของโลหะเดิมก่อนที่จะไปชุบอย่างอื่น เช่น ใช้ชุบบนงานที่มีรอยบัดกรีและชุบบนสังกะสีผสม ก่อนที่จะไปชุบนิกเกิลทันทีแต่ถ้าหากนำชิ้นงานไปชุบทองแดงแบบด่างก่อนแล้วไปชุบด้วยทองแดงแบบกรด และชุบด้วนนิกเกิลเงาตามลำดับ ก็จะทำให้ชิ้นงานนั้นแลดูสวยงามแบะทนทาน สามารถชุบในขั้นต่อไปได้

การชุบทองแดงแบ่งตามสภาพน้ำยาได้ดังนี้

1) การชุบทองแดงแบบด่าง

สารละลายของการชุบทองแดงแบบด่าง มีกำลังการเคลือบผิวดีมากและการเกาะจับผิวแน่น การชุบทองแดงแบบด่างนี้เหมาะสำหรับชุบรองพื้นขั้นแรก ก่อนที่จะเอาไปชุบในทองแดงแบบกรดและนิกเกิลเงา ในเมื่อโลหะที่จะชุบทองแดงนั้นไม่สามารถนำไปชุบในน้ำยาที่มีสภาพเป็นกรดได้ ดังนั้นจึงต้องนำชิ้นงานชุบในทองแดงแบบด่างก่อน แล้วจึงชุบในทองแดงแบบกรด (แบบเงา)หรือนิกเกิลเงา งานประเภทนี้ คืองานที่ทำด้ายสังกะสีหล่อ (Zinc Diecasting)

2) การชุบทอง แดงแบบกรด (ทองแดงเงา)

การชุบรองพื้นด้วยทองแดงแบบกรด จะได้ผิวทองที่เคลือบเรียบและเป็นเงางาม และชุบให้หนาได้ตามต้องการ การควบคุมน้ำยาก็ง่าย สารละลายในการชุบทองแดงชนิดกรดนี้ใช้คอปเปอร์ซัลเฟตกับกรดกำมะถัน และน้ำยาเงา (Brightener)

ตัวล่อ (Anode)ในการชุบทองแดงแบบกรดจะต้องใช้ตัวล่อที่เป็นฟอสฟอไรซ์คอปเปอร์ (phosphorized copper Anode) ซึ่งเป็นทองแดงที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้เป็นตัวล่อในการชุบทองแดงเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลกระทบของโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเพื่อตกแต่งผิวโลหะให้สวยงามและทนทานต่อการกัดกร่อนของสภาะอากาศ ในการชุบนี้จะต้องใช้สารเคมี เช่น น้ำกรด ด่าง เกลือโลหะ เช่นการชุบโครเมียม การชุบทอง การชุบสังกะสี การชุบดีบุก การชุบทองแดง ชุบนิกเกิล

ฉะนั้นน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจึงเป็นน้ำทิ้งที่มีมลพิษสูงเจือปนอยู่ คือโลหะหนักและไซยาไนด์ ซึ่งการปล่อยมลสารเหล่านี้ลงสู่สิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์โดยตรง

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายต้องการเล็กน้อย ผู้ใหญ่ต้องการประมาณ 2 มก. ต่อวัน แต่ถ้าร่างกาย ได้รับมากเกินไปจะก่อให้เกินโทษ เช่นรับประทานคอปเปอร์ซัลเฟต ในปริมาณ 27 กรัม ทำให้เสียชีวิตได้

นิกเกิล มีการศึกษาว่านิกเกิลในน้ำเสียจากการชุบโลหะมีผลกระทบต่อปลา รวมถึงมีผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน และต่อระบบบำบัดน้ำเสียส่วนสารประกอบนิกเกิลคาร์บอนิล (Nickel Carbonyl) เป็นสารก่อมะเร็ง

สังกะสี ถ้าอยู่ในรูปของธาตุจะไม่ปรากฏความเป็นพิษ แต่สารประกอบหลายตัวเป็นพิษแต่อยู่ในเกณฑ์ต่ำ

โครเมียม สารประกอบโครเมียมประจุบวกสามไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย แต่สารประกอบโครเมียมประจุบวกหก ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง ผิวหนังอักเสบกลายเป็นแผลติดเชื้อได้ การสูดไอกรดโครมิคเป็นประจำทำให้ผนังกั้นในจมูกถูกเจาะทะลุ เกิดมะเร็งที่ปอดได้

ไซยาไนด์ ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นพิษอย่างแรง ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และอาจทำให้เสียชีวิตได้

2.7 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่ใช้กันในปัจจุบัน

ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะนั้นสามารถทำได้โดยอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้

1) การตกผลึก (Precipitation) เป็นการเปลี่ยนรูปจากโลหะหนักที่พบในน้ำเสียและเป็นปัญหามักอยู่ในรูปของสารที่ไม่ละลายน้ำ โดยกระบวนการทางเคมี โลหะหนักที่พบในน้ำเสียและเป็นปัญหามักอยู่ในรูปของสารละลาย การกำจัดโลหะหนักจึงจำเป็นต้องทำให้ตกผลึกของแข็งเสียก่อน โลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำเสียมักทำให้ตกผลึกได้โดยการเพิ่มพีเอช ดังนั้นการเติมปูนขาวให้กับน้ำเสียจนมีพีเอชเพิ่มขึ้นถึงระดับที่เหมาะสมจะทำให้โลหะหนักตกผลึกได้ จากนั้นจึงทำให้ผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งรวมตัวกันกลายเป็นฟล็อกด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน (Coagulation) แล้วจึงแยกฟล็อคออกจากน้ำด้วยถังตกตะกอน

2) การรวมตะกอน (Flocculation) เป็นกระบวนการทำให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถตกตะกอนได้เร็ว

3) การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นกระบวนการที่ใช้แยกของแข็งออกจากน้ำสารประกอบ โลหะหนักมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำสามารถตกตะกอนได้เร็ว โดยกระบวนการนี้มักจะต่อจากกระบวนการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการรวมตะกอน

4) การกรอง (Filtration) เป็นการแยกของแข็งออกจากน้ำ เนื่องจากตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและแขวนลอยได้ไม่สามารถแยกได้โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

5) ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation / Reduction) เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเลขประจุโดยการเติมสารเคมีซึ่งอาจเป็น Oxidant หรือ Reductant อย่างใดอย่างหนึ่งไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน/รีดักชัน กับสารมลพิษน้อยลงและสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่นไซยาไนด์และโครเมียมประจุบวกหก

6) กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ

7) การระเหย (Evaporation) เป็นการใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกไปทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้นหรือกลายเป็นการตะกอน พลังงานที่ใช้มาจากเชื้อเพลิง การถ่ายเทความร้อนหรือใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์

8) รีเวอร์สออสโมซีส (Reverse Osmosis) เป็นการแยกน้ำออกจากน้ำเสียโดยใช้แรงดันอัดน้ำเสียให้ผ่านเยื่อ (Semipermeable membrane) ซึ่งมีคุณสมบัติยอมให้น้ำและสารบางตัวผ่านได้ ดังนั้นจะได้น้ำที่มีความสะอาดและน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

9) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนมากมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อสัมผัสกับน้ำเสียจะทำให้มลสารต่างๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุนทำให้น้ำทิ้งสะอาด

หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้กระบวนการต่างๆ ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมดังต่อไปนี้

- ลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด
- คุณภาพน้ำเสียที่ต้องการ
- พื้นที่ต้องใช้ทั้งหมด
- ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและการตรวจสอบคุณภาพ
- ความยากง่ายในการเดินระบบและความปลอดภัย
- ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่หรือกากที่ต้องการกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะหนักทองแดงและนิกเกิล

ศิริพร เผ่าพงษ์จันทร์ (2544) ได้ทดลองกำจัดสารละลายโครเมียมด้วยวัสดุดูดซับเปลือกไข่ 2 ชนิด คือ เปลือกไข่ไก่ชนิดธรรมดาและเปลือกไข่ไก่ปลอดโปรตีน ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของเปลือกไข่ ได้แก่ พีเอชเริ่มต้นของสารละลาย ชนิดปริมาณของเปลือกไข่ และ จลนพลศาสตร์การดูดซับ พบว่า เปลือกไข่ทั้ง 2 ชนิดเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ มีค่าพีเอชในช่วง 6-8.5 ภายใน 120 นาที เมื่อศึกษาการบำบัดสารละลายโครเมียมไนเตรท พบว่าขณะทำการดูดซับเปลือกไข่ทั้ง 2 ชนิดเกิดการละลาย ทำให้พีเอชของระบบเพิ่มขึ้นเกิดการตกตะกอนของโครเมียมก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ ทำให้ไม่สามารถศึกษา Adsorption Isotherm ได้ และจากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ พบว่าการบำบัดสารละลายโครเมียมเข้มข้น 50-500 มก./ล. ด้วยเปลือกไข่ทั้ง 2 ชนิดอาจเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และจากการวิจัยพบว่าเปลือกไข่ปลอดโปรตีนเหมาะแก่การนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับมากกว่าเปลือกไข่ธรรมดา

ชีวรัตน์ และคณะ (2544) ได้ศึกษาการพัฒนาใช้เปลือกหอยแครงมาใช้บำบัดน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมี โลหะหนักที่นำมาศึกษาคือ ตะกั่ว ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองเป็น 3 ขั้นตอนคือ การเตรียมเปลือกหอยแครง การศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำปนเปื้อนตะกั่วที่สังเคราะห์ขึ้น และศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยน้ำปนเปื้อนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกหอยพบว่าเปลือกหอยแครงมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก และจากการศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบไม่ต่อเนื่องพบว่าที่เวลา 30 นาทีนั้นสามารถกำจัดตะกั่วได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการกำจัดตะกั่วได้เพิ่มขึ้น โดยสามารถกำจัดตะกั่วได้ถึง 75 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความสามารถของเปลือกหอยแครงแต่ละชนิด จากการทดลองไอโซเทอมพบว่า เปลือกหอยแครงขนาด 16 ถึง 100 เมช ที่กระตุ้นด้วยน้ำส้มสายชู มีความสามารถในการกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด และจากการศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่อง พบว่าคอลัมน์ที่เตรียมขึ้นสามารถบำบัดน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนตะกั่วที่มีความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้โดยคำนวณความสามารถในการดูดซับตะกั่วแบบต่อเนื่องได้เท่ากับ 31.45 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอยแครง

พณจิตร ธนสิน (2539) ทดลองการกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส โดยการวิจัยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกศึกษาสภาวะที่เหาะสมและความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีและน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลที่มีความเข้มข้น 10 มก./ล. 20 มก./ล. และ 50 มก./ล. พีเอชเท่ากับ 5 6 7 และ 8 ตามลำดับ ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่หลุดออกมาจากการฟื้นอำนาจตัวกลางด้วยโซเดียมไนเตรท 0.01 M.และ 0.1M. เฉพาะปริมาณที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนอิออนซึ่งได้จากการขั้นตอนที่ 1 จากการทดลองในขั้นแรกพบว่า ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนอิออนของสังกะสีและนิกเกิลได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ 50 มก./ลิตร พีเอชเท่ากับ 6 โดยประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนอิออนของสังกะสีและนิกเกิลเท่ากับ 68.92% และ 69.52% สำหรับทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และเท่ากับ 60.66% และ 68.27% สำหรับทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งปริมาณสังกะสีและนิกเกิลที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 1978.02 มก./ล.เรซิน และ 2136.33 มก./ล.เรซิน และสังกะสีและนิกเกิลที่ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 2982.64 มก./ล.เรซิน และ 3057.52 มก./ล.เรซิน และในขั้นที่ 2 พบว่า การฟื้นอำนาจตัวกลงทั้ง 2 ชนิดด้วยโซเดียมไนเตรท 0.1 M. สามารถนำกลับโลหะหนักได้ในปริมาณที่มากกว่าด้วยโซเดียมไนเตรท 0.01 M. ถึง 2-4 เท่า เมื่อตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และกรณีทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์สามารถทำได้มากกว่าถึง 12 เท่า ในปริมาตรโซเดียมไนเตรทที่เท่ากัน

อัจฉรา ดวงเดือน(2545) ได้ทำการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ โดยนำเถ้าแกลบดำที่ได้จากโรงสี มาทำการล้างและอบไล่ความชื้นก่อน เปลือกไข่นำมาล้างลอกเยื่อเปลือกไข่ นำมาบดและร่อนแยกขนาด ทำการศึกษาการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียด้วยเปลือกไข่ แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ ศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสม และศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมแบบต่อเนื่องด้วยถังติดผิวทรงกระบอก และศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยเถ้าแกลบดำ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษาหาพีเอชที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังดูดติดผิวทรงกระบอก และศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วแบบต่อเนื่องด้วยตัวดูดติดผิวทรงกระบอก ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพพบว่าเปลือกไข่ไก่มีรูใหญ่กว่าเปลือกไข่เป็ด และพีเอชที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสีย คือ 5-6 พบว่าเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ดีกว่าเปลือกไข่เป็ด โดยมีประสิทธิภาพสูงถึง 99.84% เมื่อใช้อัตราการกรอง 1.5 ม./ชม. ใช้เปลือกไข่ 5.2 กก. สำหรับการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยเถ้าแกลบดำ พีเอชที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำเสียคือ 3 และพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงมากกว่า 99.85% เมื่อใช้อัตราการกรอง 0.4 ม./ชม. ใช้เถ้าแกลบดำ 4.4 กก.

S.E. KUH และ D.S. KIM (2000) ได้ทำการศึกษาการใช้ขยะจากเปลือกไข่เป็นตัวดูดซับเพื่อการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักแคดเมียมปนเปื้อนอยู่โดยทำการศึกษากับน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมที่ตัวแปรต่างๆ คือ ผลกระทบของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณของเปลือกไข่ ความเข้มข้นของอิออนแคดเมียม ขนาดของเปลือกไข่ อุณหภูมิ และพีเอชต่อจำนวนของอิออนแคดเมียมที่ดูดซับในสารละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณของเปลือกไข่ อุณหภูมิ และพีเอช แต่ปริมาณการดูดซับจะลดลงตามการเพิ่มขนาดของเปลือกไข่ ในการทดลองนี้ได้มีการตรวจสอบไอโซเทอมของการดูดซับและกลศาสตร์ในการเกิดปฏิกิริยาของอิออนแคดเมียม พบว่ากระบวนการดูดซับมีแนวโน้มที่จะเกิดการคายพลังงาน และไอโซเทอมการดูดซับของอิออนแคดเมียมใกล้เคียงกับโมเดล Freundlich

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. อ่างเขย่าควบคุมอุณหภูมิ
2. ตะแกรงคัดแยกอนุภาคขนาด 35 mesh
3. ครกหิน
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TC – 254
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TC – 254
6. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น Model 215
7. กระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman
8. เครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer
9. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
10. บีกเกอร์ ขนาด 25 50 500 มิลลิลิตร
11. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 1,000 มิลลิลิตร
12. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 125 มิลลิลิตร
13. ปิเปต ขนาด 10 50 มิลลิลิตร
14. กระบอกตวง ขนาด 250 มิลลิลิตร
15. กรวยกรอง
16. ขวดพลาสติก
17. หลอดหยด
18. ช้อนตักสาร
19. ลูกยางแดง
20. กระบอกน้ำกลั่น
21. ถาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. $Cu(NO_3)_2.9H_2O$ บริษัท CARLO ERBA Reagent grade
2. $Ni(NO_3)_2.\ H_2O$ บริษัท CARLO ERBA Reagent grade
3. HCl 0.1 N บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์
4. NaOH 0.1 N บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสีย โดยใช้วัสดุดูดซับคือเปลือกไข่ไก่ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วยเปลือกไข่ คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ปริมาณเปลือกไข่ที่ใช้ทำการดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ทำการดูดซับ

3.3.1 การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกไข่

วัสดุที่ใช้ในการดูดซับครั้งนี้ คือ เปลือกไข่ไก่ธรรมดา ที่มีขนาดอนุภาค คือ 35 mesh โดยมีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

1.) นำเปลือกไข่มาล้างทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำกลั่น และแช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 คืนเพื่อให้เยื่อด้านในพองตัว ทำการลอกเยื่อด้านในออก

2.) ทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท

3.) นำเปลือกไข่มาทำการตำในครกหิน

4.) นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh จะได้เปลือกไข่ที่มีขนาดตามที่ต้องการ แล้วนำมาทำการเก็บไว้ใช้ในการทดลองต่อๆ ไป เก็บไว้ในโถทำแห้ง

3.3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิล

3.3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง

1.) นำ $Cu(NO_3)_2.3H_2O$ ชนิด Reagent grade ปริมาณ 0.4952 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ทำเป็นสารละลายสต็อค (สารละลาย 100 ppm)

2.) ทำการเจือจางเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 25 ppm

3.3.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล

1.) นำ $Ni(NO_3)_2.\ 6H_2O$ ชนิด Reagent grade ปริมาณ 0.3801 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ทำเป็นสารละลายสต็อค (สารละลาย 100 ppm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ทำการเจือจางเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 25 ppm

3.3.2.3 น้ำเสียสังเคราะห์ผสมทองแดงและนิกเกิล

นำสารละลายสต็อคทองแดง ทำการเจือจางเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 50 ppm ผสมกับสารละลายสต็อคนิกเกิลที่ทำการเจือจางเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 50 ppm

3.3.2.4 น้ำเสียอุตสาหกรรม

ได้นำมาจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง แขวงลำปะทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.3.3 การศึกษากระบวนการดูดซับ

1 นำเปลือกไข่ที่เตรียมไว้ในปริมาณที่ต้องการใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 600 มิลลิลิตรทำการผสมคันกับสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2 ทำการวัดพีเอช และปรับพีเอชให้เท่ากับ 8 ด้วยสารละลาย HCl 0.1 N และ NaOH 0.1 N

3 ทำการเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง และกำหนดระยะเวลาที่แน่นอน

4 กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

5 ปรับพีเอชให้ต่ำกว่า 2 ด้วยสารละลาย HCl 0.1 N เพื่อรักษาสภาพ

6 เก็บสารละลายที่ผ่านการกรองไว้ในขวดพลาสติก นำไปแช่เย็น

7 วัดสารละลายที่ผ่านการกรองด้วยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer

8 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งตั้งแต่ข้อ 1-6

3.3.4 การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับของเปลือกไข่

3.3.4.1 การศึกษาปริมาณเปลือกไข่ที่มีผลกระทบต่อการดูดซับ

<u>ขอบเขตการทดลอง</u>

- เวลาที่ทำการดูดซับ 300 นาที
- อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 30 องศาเซลเซียส

<u>การแปรค่า</u>

- ปริมาณเปลือกไข่ที่ทำการดูดซับ 2.5 5 10 15 20 30 40 60 90 และ 120 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อการดูดซับ

ขอบเขตการทดลอง

- ปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.3.4.1
- เวลาที่ทำการดูดซับ 300 นาที

การแปรค่า

- อุณหภูมิที่ทำการดูดซับ 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส

3.3.4.3 การศึกษาเวลาที่มีผลกระทบต่อการดูดซับ

ขอบเขตการทดลอง

- ปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.3.4.1
- อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.3.4.2

การแปรค่า

- เวลาที่ทำการดูดซับ 30 60 120 180 240 และ 300 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

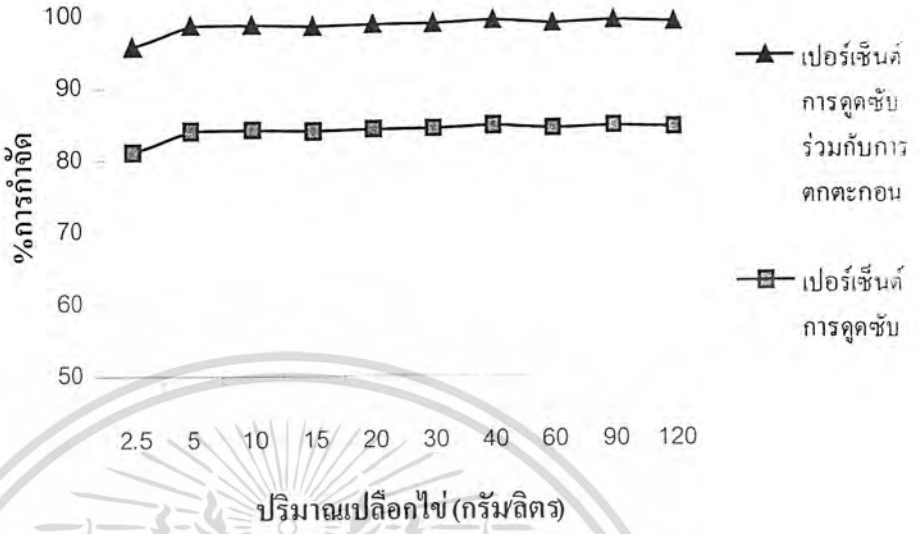
การนำเสนอโครงงานพิเศษ เรื่องการกำจัดทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโดยใช้ขยะจากเปลือกไข่ ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมที่มีผลต่อการดูดซับ และทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดงและนิกเกิล โดยใช้สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิล และน้ำเสียที่มีโลหะหนักทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ ซึ่งทำการนำเสนอเป็นแบบตาราง กราฟ และอภิปรายผล โดยทำการแยกการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอนการทดลองตามลำดับ

4.1 ผลการศึกษาปริมาณเปลือกไข่ที่มีผลต่อการดูดซับ

จากการเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกไข่ โดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เปลือกไข่ไก่ธรรมดา ที่มีขนาดอนุภาค 35 mesh

จากการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch test) นำเปลือกไข่ปริมาณ 2.5 5 10 15 20 30 40 60 90 และ 120 กรัม/ลิตร ใส่ในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล และสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ผสมทองแดง-นิกเกิลที่มีความเข้มข้น 25 ppm ทำการปรับพีเอช นำมาเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที จากนั้นทำการกรองและนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทองแดงและนิกเกิล โดยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer (AAS) สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังกราฟ รูปที่ 4.1-4.4

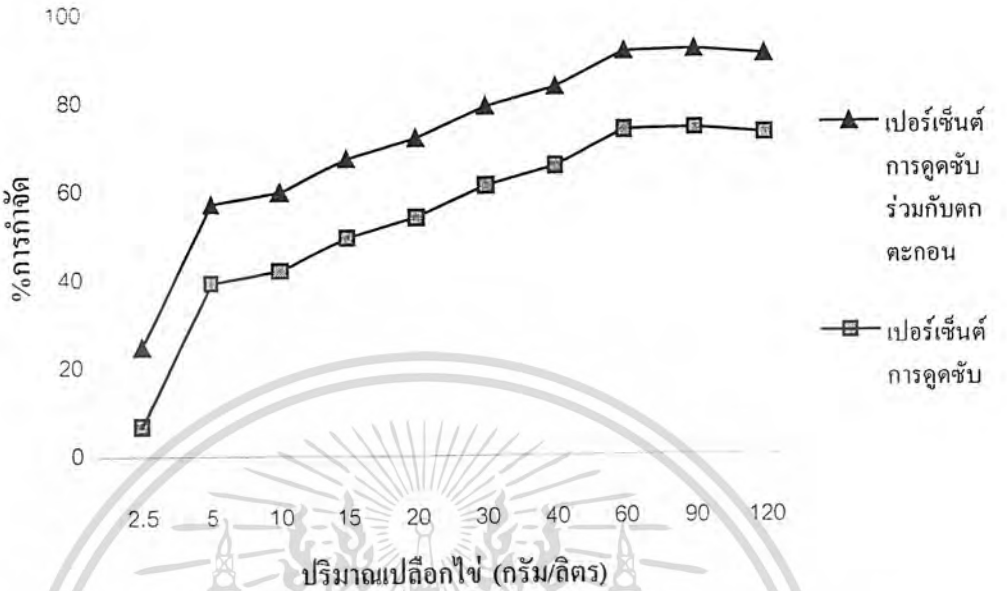
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงเมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนของทองแดงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ปริมาณเปลือกไข่ 2.5-5 กรัม/ลิตร กราฟจะมีความชันโดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและช่วงที่ 2 ปริมาณเปลือกไข่ 5-120 กรัม/ลิตร กราฟจะไม่มีความชันลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมต่อการดูดซับและตกตะกอนทองแดง คือ 5 กรัม/ลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับร่วมกับตกตะกอนเท่ากับ 98.71 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 84.11 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 14.6 % ซึ่งคอบเปอร์ไฮดรอกไซด์มีค่าการละลาย (Ksp)เท่ากับ 1.6×10^{-19} จะเห็นได้ว่ามีค่าการละลายที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้การปรับพีเอชมีผลทำให้ทองแดงบางส่วนตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์กำจัดของนิกเกิลเมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่

จากกราฟรูปที่ 4.2 ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองขั้นต้น แต่เปลี่ยนเป็นการวัดนิกเกิล จากกราฟจะเห็นว่าสามารถแบ่งกราฟได้เป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ

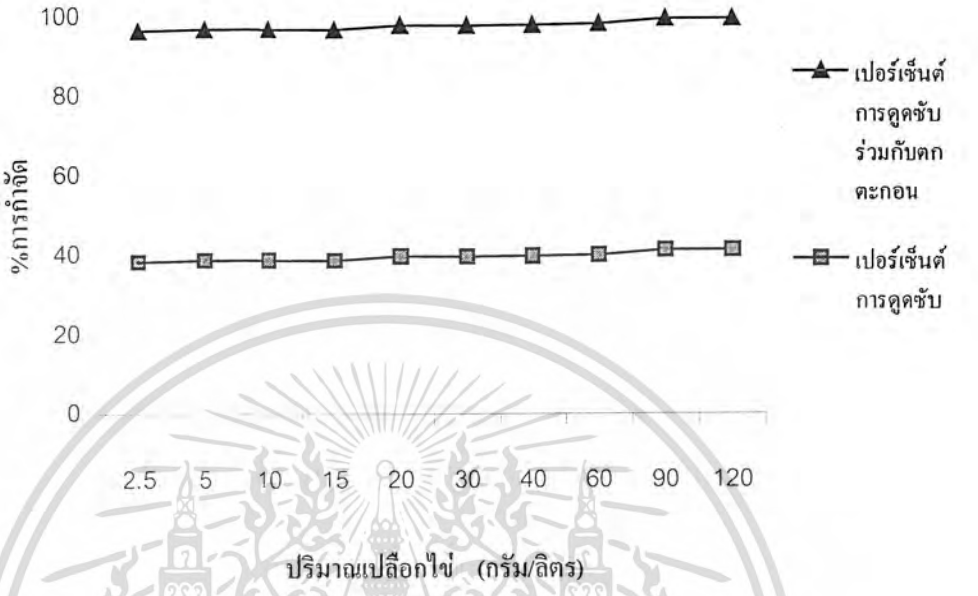
ช่วงที่ 1 กราฟจะมีลักษณะความชันโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณเปลือกไข่ 2.5-5 กรัม/ลิตร

ช่วงที่ 2 กราฟจะมีลักษณะความชันโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยลง ในช่วงปริมาณเปลือกไข่ 5-60 กรัม/ลิตร

ช่วงที่ 3 กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวนอนมีค่าความชันใกล้ 0 ในช่วงปริมาณเปลือกไข่ 60-120 กรัม/ลิตร

จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนจะเริ่มคงที่ที่ปริมาณ 60 กรัม/ลิตร ดังนั้น จึงเลือกใช้ปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมต่อการดูดซับนิกเกิล เท่ากับ 60 กรัม/ลิตร ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 91.38 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 73.38 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 17.88 % นิกเกิลไฮดรอกไซด์มีค่าการละลาย (Ksp) เท่ากับ 5.54×10^{-16} จะเห็นได้ว่ามีค่าการละลายที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้การปรับพีเอชมีผลทำให้นิกเกิลบางส่วนตกตะกอน

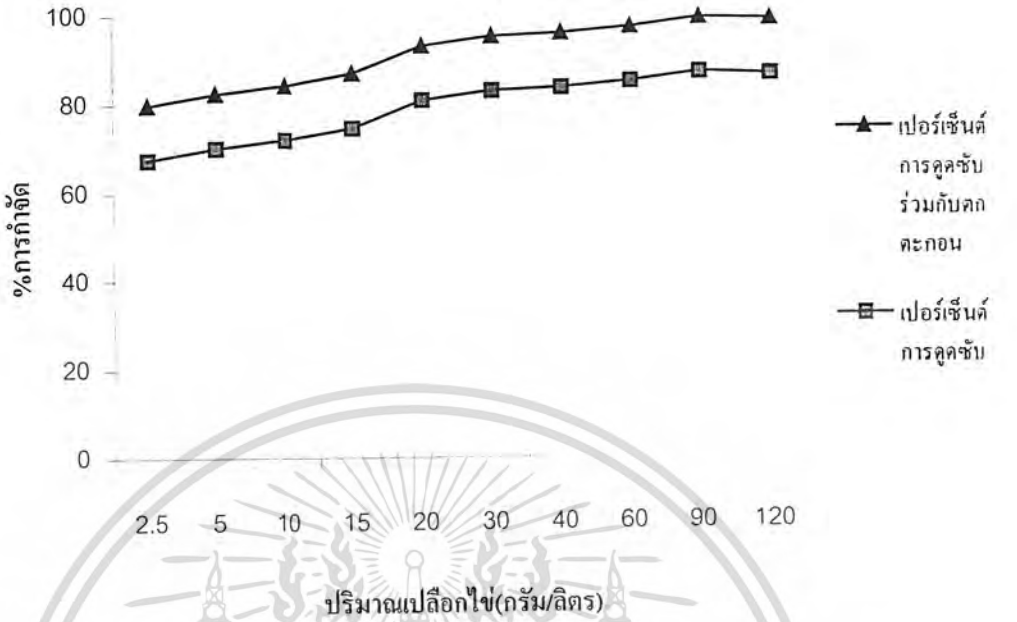
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดของทองแดง
ในสารละลายผสมทองแดง-นิกเกิล เมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่

จากกราฟที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า กราฟจะมีความชันน้อยมากและไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับปริมาณเปลือกไข่ที่ 2.5-90 กรัม/ลิตร เมื่อใช้ปริมาณเปลือกไข่ที่ 2.5 กรัม/ลิตรจะมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 96.51 % และถ้าเลือกใช้ปริมาณเปลือกไข่ 90 กรัม/ลิตร จะมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 99.46 % ซึ่งจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนของปริมาณเปลือกไข่ทั้งสองต่างกัน เพียง 3.95 % จึงเลือกใช้ปริมาณเปลือกไข่ที่ 2.5 กรัม/ลิตรเพื่อเป็นการประหยัดวัสดุในการดูดซับ และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 38.31 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 58.2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดนิกเกิล
ในสารละลายผสมทองแดง-นิกเกิลเมื่อศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่

จากกราฟที่ 4.4 สามารถทำการแบ่งกราฟที่ได้ออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ปริมาณเปลือกไข่ 2.5-90 กรัม/ลิตร กราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมีความชันปานกลาง และช่วงที่ 2 ปริมาณเปลือกไข่ 90-120 กรัม/ลิตร กราฟจะเริ่มมีความชันที่ใกล้เป็น 0 จึงเลือกใช้ปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมต่อการดูดซับนิกเกิลในสารละลายผสม เท่ากับ 90 กรัม/ลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 98.72 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ86.44 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 12.28 % จากกราฟ รูปที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของทองแดงมีค่ามากกว่านิกเกิล เนื่องมาจากค่าการละลาย (Ksp)ของทองแดงมีค่าน้อยกว่าทำให้เกิดการตกตะกอนมากกว่า โดยค่าการละลาย(Ksp)ของทองแดงมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} และนิกเกิลมีค่าเท่ากับ 5.54×10^{-16}

จากรูปที่ 4.1-4.4 จะเห็นว่าทองแดงใช้ปริมาณเปลือกไข่ในการดูดซับน้อยกว่านิกเกิล ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่าทองแดงสามารถทำการดูดซับได้ง่ายกว่านิกเกิล เนื่องจากทองแดงและนิกเกิลมีประจุเท่ากัน คือ+2 แต่ขนาดโลหะไอออนของทองแดงมีขนาดใหญ่กว่าขนาดโลหะไอออนของนิกเกิล ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้คือประจุของโลหะไอออนและขนาดของโลหะไอออน เรียกรวมได้ว่าความหนาแน่นประจุ (Charge density) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของประจุบนโลหะไอออนต่อรัศมีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะไอออน ดังนั้นความหนาแน่นของประจุจะเพิ่มขึ้นเมื่อโลหะไอออนมีประจุเพิ่มขึ้น และมีขนาดเล็กลง (ศักดา,2542) จากสาเหตุนี้จึงทำให้ทองแดงสามารถดูดซับได้ง่ายกว่านิกเกิลนั่นเอง

เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้และแตกตัวเป็นคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ได้ ดังสมการ

$$CaCO_3 \longleftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \longleftrightarrow HCO_3^- + OH^-$$

ดังนั้นปฏิกิริยาที่ 2 ที่น่าจะเกิดขึ้น คือ การละลายของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่แล้วเกิดการตกตะกอน (Precipitation) กับอิออนทองแดงและนิกเกิลบริเวณผิวเปลือกไข่ ซึ่งมีความเข้มข้นของคาร์บอเนตอิออนค่อนข้างสูง เกิดเป็นสารประกอบทองแดงคาร์บอเนต ($CuCO_3$)และนิกเกิลคาร์บอเนต ($NiCO_3$) แล้วถูกดูดซับบริเวณที่ผิวเปลือกไข่ได้

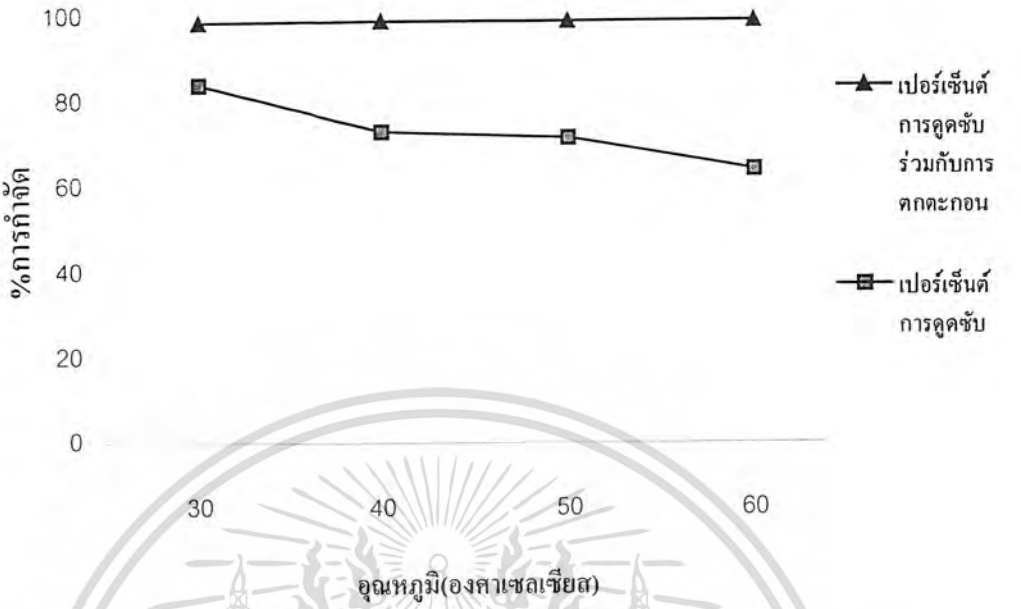
$$\text{เปลือกไข่}(CaCO_3) + Cu^{2+} + 2H_2O \longrightarrow \text{เปลือกไข่}-(CuCO_3.\ 2H_2O) + Ca^{2+}$$

$$\text{เปลือกไข่}(CaCO_3) + Ni^{2+} + 2H_2O \longrightarrow \text{เปลือกไข่}-(NiCO_3.\ 2H_2O) + Ca^{2+}$$

4.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่มีผลต่อการดูดซับ

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมที่มีผลต่อการดูดซับ ทำการทดลองกับสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงโดยใช้เปลือกไข่ปริมาณ 5 กรัม/ลิตร สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลใช้เปลือกไข่ปริมาณ 60 กรัม/ลิตร และสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ผสมทองแดงและนิกเกิลใช้เปลือกไข่ปริมาณ 90 กรัม/ลิตร ทำการแปรค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับเป็น 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ และเวลาในการดูดซับ คือ 300 นาที ทำการปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที ทำการกรองสารละลายที่ได้ และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทองแดงและนิกเกิล โดยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer (AAS) ผลการทดลองแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4.5-4.8

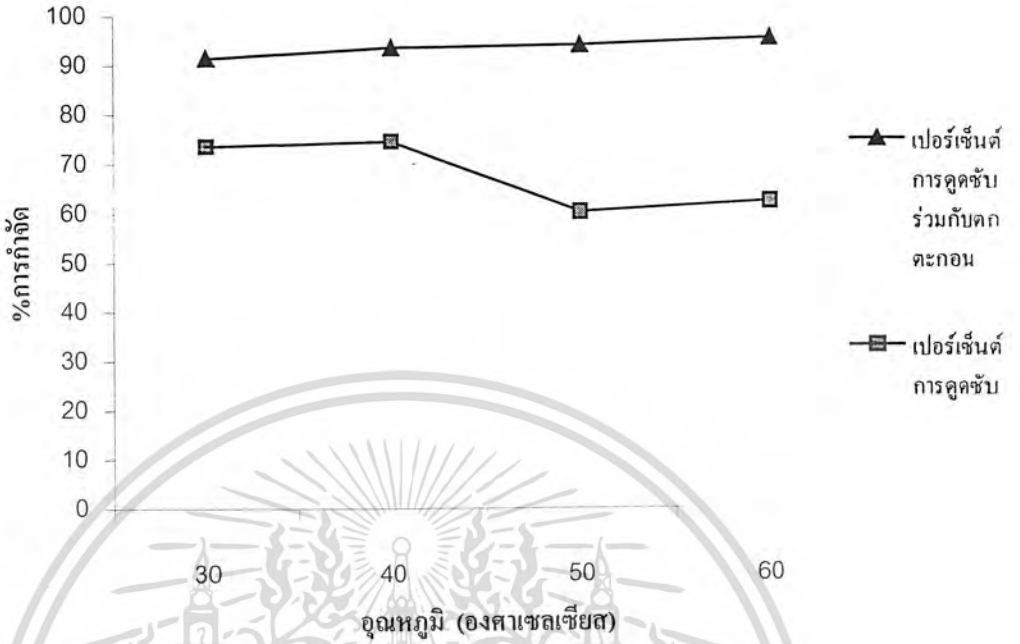
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดของทองแดง
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ

จากกราฟรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนของทองแดงมีความชันที่เข้าใกล้ 0 ดังนั้นอุณหภูมิจึงไม่มีผลมากนักต่อการดูดซับและตกตะกอนของทองแดง จึงเลือกสภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลอง คือ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 98.71 % ส่วนเปอร์เซ็นต์การดูดซับเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดซับมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นผลเนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการละลาย(Ksp)ของแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีค่าลดลง ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการตกตะกอนมากขึ้น (ภาคผนวก ง) ซึ่งปริมาณตัวดูดซับในสารละลายน้อยลงทำให้การดูดซับลดลง และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับ เท่ากับ 84.11 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 14.6 %

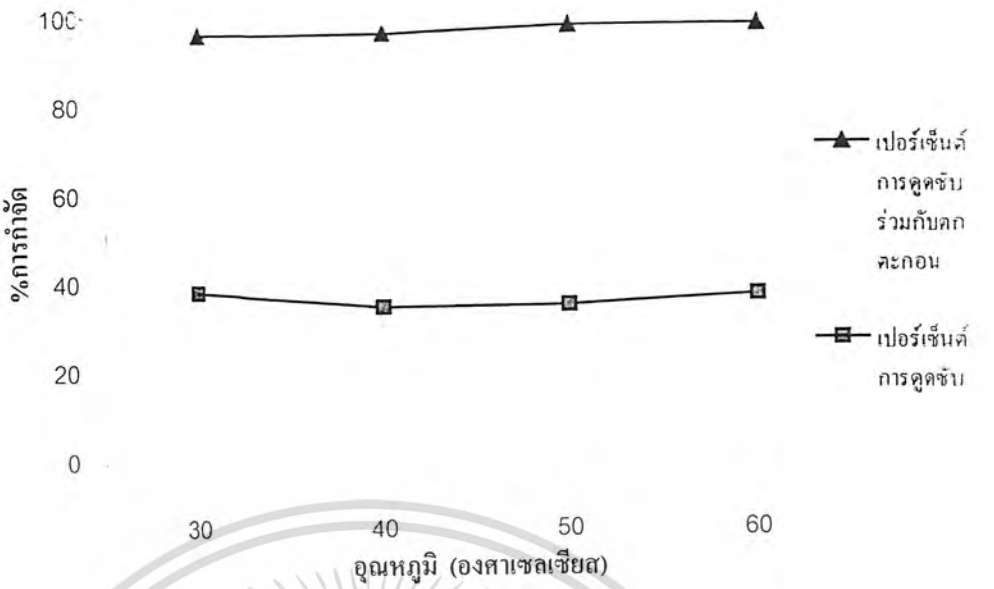
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



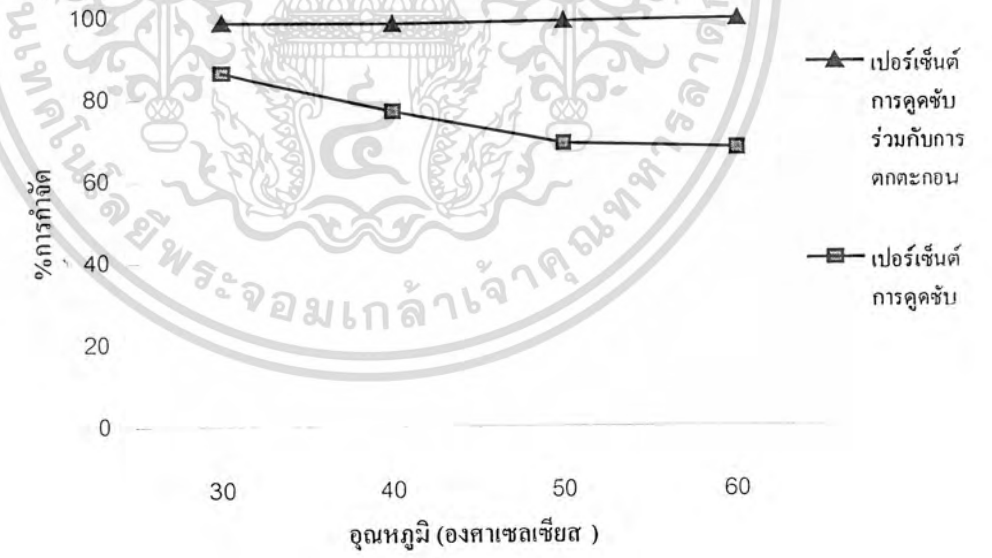
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดของนิกเกิล
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ

จากกราฟรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส แต่ไม่มากนัก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 91.38 % และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 93.48 % จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนของทั้งสองอุณหภูมิต่างกันเพียง 2.1 % ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่ดีที่สุด คือ 30 องศาเซลเซียสเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 73.50 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 17.88 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดของทองแดง
ในสารละลายผสมเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดของนิกเกิล
ในสารละลายผสมเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

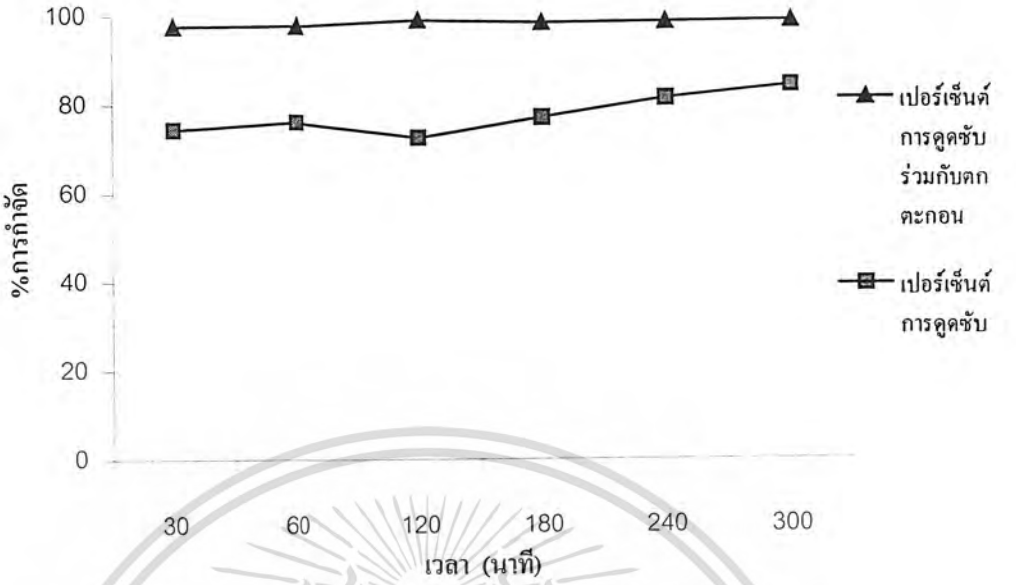
จากกราฟที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนของกราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ จึงเลือกสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลอง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยทองแดงในสารละลายผสม มีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 99.46 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 41.26 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 58.2 % สำหรับนิกเกิลใน สารละลายผสมมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 98.72 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 86.44 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 12.28 % แสดงให้เห็นว่าการปรับพีเอชมีผลต่อการกำจัดทองแดงค่อนข้างมากส่วนในสารละลายนิกเกิลมีการกำจัดมากขึ้นเพียงเล็กน้อย

จากกราฟในรูปที่ 4.5-4.8 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิไม่ค่อยมีผลต่อการดูดซับและตกตะกอนของโลหะหนักทั้งสองชนิด คือ ทองแดงและนิกเกิลมากนัก สำหรับทองแดงเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนไม่ต่างกันมาก และสำหรับนิกเกิลการดูดซับเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่เพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสสำหรับ โลหะหนักทั้งสองชนิด เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

4.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่มีผลต่อการดูดซับ

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงใช้เปลือกไข่ปริมาณ 5 กรัม/ลิตร สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลใช้เปลือกไข่ปริมาณ 60 กรัม /ลิตร และสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ผสมทองแดง-นิกเกิลใช้เปลือกไข่ปริมาณ 90 กรัม/ลิตร โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 150 รอบ/นาที และทำการแปรค่าเวลาเป็น 30 60 120 180 240 และ 300 นาที ตามลำดับ ทำการกรองสารละลายที่ได้และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทองแดงและนิกเกิล โดยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer (AAS) ผลการทดลองแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4.9-4.12

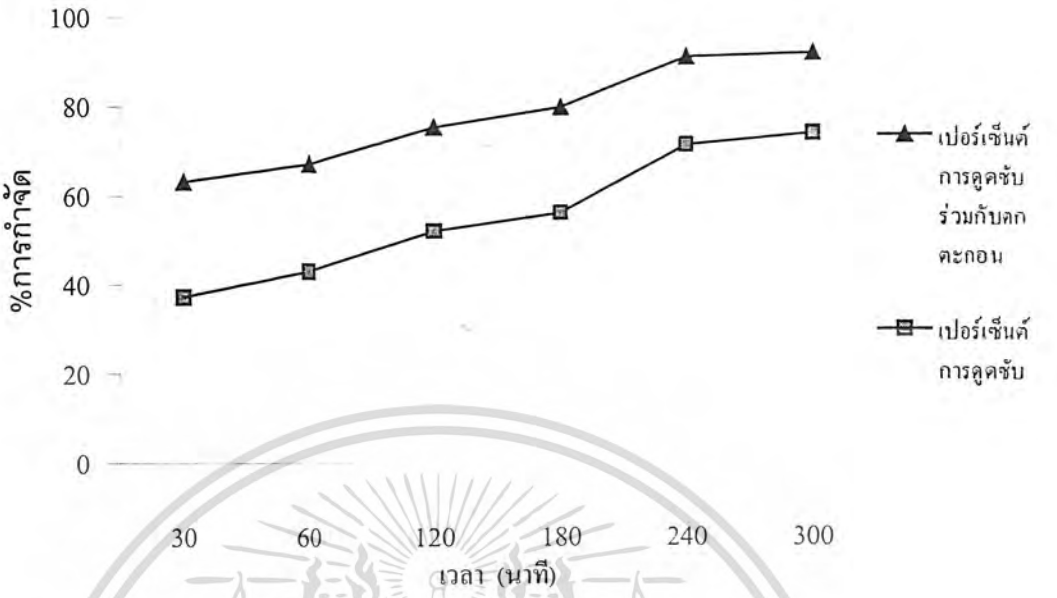
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดของทองแดงเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลา

จากกราฟรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของทองแดงเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการดูดซับไม่แตกต่างกันมากนัก เวลาจึงไม่ค่อยมีผลต่อการดูดซับทองแดง จึงเลือกใช้สภาวะในการดูดซับ เท่ากับ 30 นาที สามารถคิดค่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 97.60 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 74.40 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 23.2 %

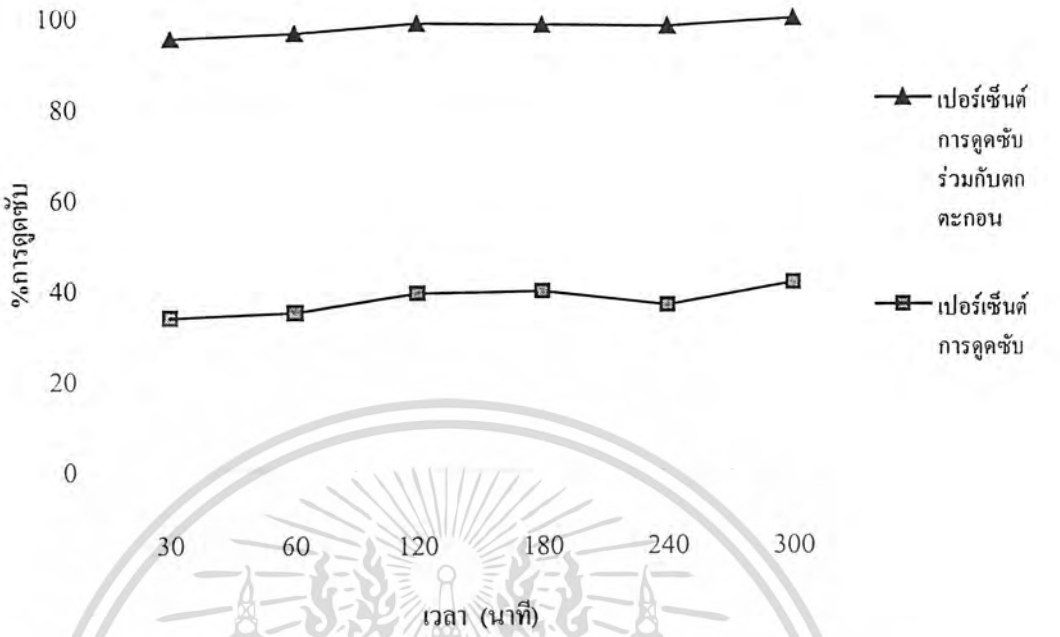
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดนิกเกิล
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ

จากกราฟที่ 4.10 สามารถทำการแบ่งกราฟได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ช่วงเวลาในการดูดซับ 30-240 นาที จะเห็นว่ากราฟมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และช่วงที่ 2 ช่วงเวลาในการดูดซับ 240-300 นาที กราฟค่อนข้างคงที่ ทำการเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 240 นาที สามารถคิดค่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 90.59 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 71.07 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 19.52 %

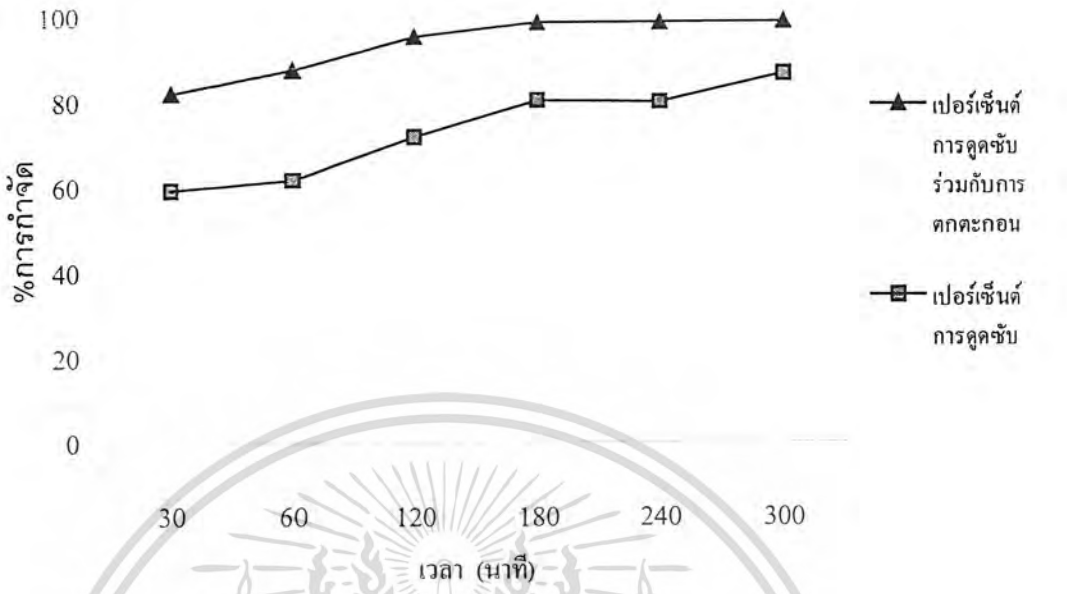
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงในสารละลายผสม
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ

จากกราฟรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับและการตกตะกอนของทองแดงในสารละลายผสมเมื่อมีการเพิ่มเวลาในการดูดซับให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่เวลา 30 นาที สามารถคิดค่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 95.63 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 34.23 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 61.40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดนิกเกิลในสารละลายผสม
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ

จากกราฟรูปที่ 4.12 สามารถทำการแบ่งกราฟได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ช่วงเวลาในการดูดซับ 30-180 นาที จะเห็นว่าการกำจัดมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ และช่วงที่ 2 ช่วงเวลาในการดูดซับ 180-300 นาที กราฟไม่มีความชัน ลักษณะกราฟค่อนข้างเป็นเส้นตรงในแนวนอน ทำการเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 180 นาที สามารถคิดค่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับและตกตะกอนเท่ากับ 98.64 % และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 80.40 % เมื่อทำการคิดค่าการตกตะกอนเท่ากับ 18.24 %

จากกราฟรูปที่ 4.9-4.12 พบว่า เวลาไม่ค่อยมีผลมากนักต่อการดูดซับและตกตะกอนของทองแดงแต่มีผลต่อการดูดซับของนิกเกิล เนื่องจากนิกเกิลมีขนาดของอิออนที่เล็กกว่าทองแดงทำให้ความหนาแน่นของประจุมากกว่าทองแดง เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของอิออนกับลิแกนด์มาก ทำให้การแตกของลิแกนด์เกิดได้ยากกว่า จึงต้องใช้เวลาในการดูดซับมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาการดูดซับทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานชุบโลหะ

เมื่อนำน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะแห่งหนึ่ง ที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทองแดงและนิกเกิล พบว่าตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ มีปริมาณทองแดงเท่ากับ 21.7 ppm และปริมาณนิกเกิลเท่ากับ 50.5 ppm

จากนั้นทำการทดลองโดยนำเปลือกไข่ปริมาณ 90 กรัม/ลิตร ใส่ในสารละลายน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ นำมาปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 180 นาที จากนั้นกรองสารละลายที่ได้และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทองแดงและนิกเกิล โดยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer (AAS) สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การกำจัดทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานชุบโลหะโดยใช้เปลือกไข่

ชนิดโลหะหนัก	ตัวอย่างน้ำเสีย	
	ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ	%การดูดซับร่วมตกตะกอน
Cu	0.289	98.67
Ni	0.903	98.21

จากตารางที่ 4.1 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงและนิกเกิลในสารละลายน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานชุบโลหะ เท่ากับ 98.67 และ 98.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีปริมาณทองแดงเท่ากับ 0.289 มิลลิกรัม/ลิตร และนิกเกิล เท่ากับ 0.903 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม (ดูจากภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสามารถในการกำจัดทองแดงและนิกเกิล ซึ่งการทดลองนี้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาปริมาณเปลือกไข่ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดง คือ 5 กรัม/ลิตร ปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมต่อการกำจัดนิกเกิลคือ 60 กรัม/ลิตร และปริมาณเปลือกไข่ที่เหมาะสมต่อการกำจัดทองแดงและนิกเกิลในสารละลายผสมทองแดงกับนิกเกิล คือ 2.5 และ 90 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าอุณหภูมิไม่ค่อยมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักทั้งสองชนิดคือทองแดงและนิกเกิลมากนัก จึงเลือกใช้อุณหภูมิที่ดีที่สุดคือ 30 องศาเซลเซียสเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาผลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่านิกเกิลใช้เวลาในการดูดซับมากกว่าทองแดงคือ ทองแดงใช้เวลาในการดูดซับ 30 นาที นิกเกิลใช้เวลาในการดูดซับ 240 นาที และในสารละลายผสม ทองแดงจะใช้เวลาในการดูดซับ 30 นาที และนิกเกิลในสารละลายผสมจะใช้เวลาในการดูดซับ 180 นาที

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาการนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองมาใช้กับน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร พบว่าใช้ปริมาณเปลือกไข่ 90 กรัม/ลิตร อุณหภูมิที่ใช้คือ 30 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้คือ 180 นาที สามารถทำการบำบัดทองแดงในน้ำเสียได้เท่ากับ 98.67 %และนิกเกิลในน้ำเสียได้เท่ากับ 98.21 %

จากการทดลองที่ผ่านมานั้น ทำให้ทราบได้ว่าเปลือกไข่นั้นสามารถที่จำกำจัดทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนได้ เป็นกระบวนการที่มีต้นทุนถูก สามารถทำได้ง่าย และลดปริมาณทองแดงและนิกเกิลได้ในระดับหนึ่ง ถ้าหากมีการพัฒนาตัวดูดซับให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้และอาจถูกทิ้งเป็นขยะมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ และเป็นการลดของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการศึกษาแบบคอลัมน์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของเปลือกไข่อีกวิธีการหนึ่ง

5.2.2 ควรมีการศึกษาถึงแนวทางการกำจัดเปลือกไข่ที่ดูดซับทองแดงและนิกเกิลแล้วเพื่อไม่ให้เกิดการกระจายของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม

5.2.3 ควรทำการศึกษาเปลือกไข่ชนิดอื่นที่สามารถนำมาทำการดูดซับโลหะหนักได้

5.2.4 ควรทำการศึกษาการใช้เปลือกไข่ในการดูดซับโลหะหนักชนิดอื่นๆด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย wastewater treatment**, พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพ: มิตรภาพ การพิมพ์.

จักรี เผ่าพันธุ์,ประพฤทธิ์ วงศ์วิญญาตระการ. 2542. **การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยเครื่องมีปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบหมุน**.โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชีวรัตน์ และคณะ. 2544. **การดูดซับตะกั่วโดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากเปลือกหอยแครง.** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชุติมา สัณหภักดี,พรพิมล พัดภู่. 2544. **การดูดซับทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะจากกากตะกอนโดยใช้ไคโตซาน.** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พณจิตร ธนสิน. 2539. **การกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

วิทยา เพียรวิจิตร. 2534. **เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสียม.** หน้า 92-94. กรุงเทพ:สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

สมบูรณ์ ประยามศรีเมฆ. 2543. **การบำบัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้คอลัมน์เศษเหล็ก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณี. 2529. ไข่และเนื้อไก่. หน้า 14-114.พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพ:อมรการพิมพ์

ศักดา ไตรศักดิ์. 2542. **เคมีอินทรีย.** หน้า73-75.พิมพ์ครั้งที่ 2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศิริพร เผ่าพงษ์จันทร์. 2544. **การพัฒนาวัสดุดูดซับเปลือกไข่เพื่อกำจัดโครเมียม (III).** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อนันต์ ทองมอญ. 2535. **การชุบโลหะ**.หน้า 251-264.กรุงเทพ:สำนักพิมพ์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัจฉรา ดวงเดือน. 2545. **การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ**. LAB TODAY.(พย.-ธค.) :29-35

Namguk Her*, Gary Amy and Chalor Jarursutthirak.2000.**Seasonal variations of nanofiltration (NF) foulants:identification and control,**ELSEVIER.Vol 132 :143-160.

S.E.KUH and D.S.KIM.2000.**Removal Characteristics of Cadmium ion by Waste Egg Shell,** Envi Tech.Vol 21:883-890.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
คำจำกัดความ

1. " โรงงานอุตสาหกรรม " หมายถึง โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
2. " น้ำเสีย " หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น
3. " น้ำทิ้ง " หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการอุตสาหกรรม ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้
4. " โลหะหนัก " หมายถึง โลหะที่มีน้ำหนักจำเพาะ (Specific Gravity) สูง มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 กลุ่มของโลหะหนักอยู่ภายในคาบที่ 4-7 ตรงครึ่งล่างของตารางธาตุ เรียกว่ากลุ่มโลหะทรานซิชัน (Transition Metals) โดยปกติโลหะหนักมีสภาวะเป็นของแข็ง (ยกเว้น ปรอทเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนักคือนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ สะท้อนแสงได้ดี คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ทำให้สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูป สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักโดยทั่วไปจะมีสี ซึ่งละลายน้ำมีฤทธิ์เป็นได้ทั้งกรดอ่อนและเบสอ่อน โลหะหนักอาจเป็นตัวออกซิไดซ์ หรือตัวรีดิวซ์ก็ได้ การที่โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าในรูปโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic Compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านตามห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) โลหะหนักเหล่านี้แพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนอยู่ในดิน น้ำ อากาศ และอาหาร แล้วเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต อาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้ กลุ่มของโลหะเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุของมลพิษที่มีต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งมาจากหลายแหล่ง เช่น ตะกั่วที่อยู่ในน้ำมันเบนซิน น้ำเสียจากอุตสาหกรรม และการชะอิออนของโลหะหนักออกมาจากดินลงสู่ทะเลสาบและแม่น้ำโดยอิทธิพลของฝนกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำเสียที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า " ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution) " รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงงานดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่น

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแต่ต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนัก มีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5 อาร์เซนิค (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6 โครเมียม (Chromium)

4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.9 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรีนอิสระ

(10) เพสติไซด์ (Pesticide) ไม่ต้องมี

(11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการตามนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 ถึง 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปคโตรสโครปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่า อาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ - เจนเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปคโตรสโครปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น โคลด์ เวปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Tttrate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีน้ำกลั่น และตามด้วยวิธี ไพริดีน บาร์บิทูริคแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มัลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีน้ำกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโน แอนติไพรีน (Distillation,4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริค (Iodomertic Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซ โครมาโตกราฟฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิพิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วันติดต่อกัน หรือเป็นวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยใช้โปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 ต้องเป็นไปตามคู่มือการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริการ่วมกันกำหนดไว้ด้วย American Water

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์

(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(นายเสถียร วีระวงศ์)

เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ตารางแสดงผลข้อมูล

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ต่อการดูดซับทองแดงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
2..5	1.031	1.071	95.72	81.12	14.6
	1.081				
	1.102				
5.0	0.320	0.322	98.71	84.11	14.6
	*0.250				
	0.325				
10.0	0.289	0.290	98.84	84.24	14.6
	0.288				
	0.292				
15.0	0.350	0.350	98.60	84.00	14.6
	0.331				
	0.369				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
20.0	*0.025	0.303	98.79	84.19	14.6
	0.310				
	0.296				
30.0	0.275	0.284	98.87	84.26	14.6
	*0.614				
	0.293				
40.0	0.151	0.175	99.30	84.70	14.6
	*0.103				
	0.200				
60.0	*0.415	0.294	98.82	84.22	14.6
	0.300				
	0.288				
90.0	0.201	0.218	99.13	84.53	14.6
	*0.314				
	0.236				
120.0	0.278	0.273	98.91	84.31	14.6
	0.268				
	*0.512				

หมายเหตุ 1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ

2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เท่ากับ 21.35 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับทองแดงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30	0.320 *0.250 0.325	0.322	98.71	98.71	14.6
40.0	0.192 0.189 *0.136	0.191	99.24	73.32	25.92
50.0	0.175 0.175 0.176	0.175	99.30	71.74	27.56
60.0	0.166 *0.105 0.172	0.169	99.32	64.24	35.08

หมายเหตุ 1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ

2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 21.35 มิลลิกรัม/ลิตร

3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 18.52 มิลลิกรัม/ลิตร

4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 18.11 มิลลิกรัม/ลิตร

5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 16.23 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของเวลาต่อการดูดซับทองแดงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30	0.599	0.601	97.60	74.40	23.2
	0.603				
	*0.812				
60	0.512	0.538	97.85	75.97	21.88
	0.541				
	0.562				
120	0.215	0.208	99.17	72.57	26.6
	0.207				
	0.202				
180	0.355	0.378	98.49	77.01	21.48
	*0.699				
	0.401				
240	*1.102	0.350	98.60	81.24	17.36
	0.364				
	0.336				
300	0.320	0.322	98.71	84.11	14.6
	*0.250				
	0.325				

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 30 นาที เท่ากับ 19.2 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 60 นาที เท่ากับ 19.53 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 120 นาที เท่ากับ 18.35มิลลิกรัม/ลิตร
5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 180 นาที เท่ากับ 19.63 มิลลิกรัม/ลิตร
6. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 240 นาที เท่ากับ 20.66 มิลลิกรัม/ลิตร
7. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 300 นาที เท่ากับ 21.35 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ต่อการดูดซับนิกเกิลในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
2.5	18.750 * 25.632 18.870	18.810	24.73	6.88	17.88
5	10.220 11.010 10.930	10.720	57.12	39.24	17.88
10	9.850 10.230 10.070	10.050	59.80	41.92	17.88
15	8.122 8.100 8.276	8.166	67.34	49.46	17.88
20	7.053 6.953 * 8.963	7.003	71.99	54.11	17.88
30	5.123 5.263 5.211	5.229	79.08	61.20	17.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
40	4.231	4.144	83.42	65.54	17.88
	4.020				
	4.181				
60	2.123	2.155	91.38	73.5	17.88
	2.214				
	2.128				
90	2.120	2.083	91.67	73.79	17.88
	2.031				
	2.098				
120	* 4.230	2.363	90.55	72.67	17.88
	2.223				
	2.503				

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เท่ากับ 20.53 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับนิกเกิลในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30	2.123	2.155	91.38	73.50	17.88
	2.214				
	2.128				
40	*1.367	1.629	93.48	74.40	19.08
	1.611				
	1.647				
50	1.581	1.550	93.80	60.08	33.72
	1.490				
	1.579				
60	*0.852	1.288	94.85	62.01	33.08
	1.334				
	1.242				

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 20.53 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 20.23 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 16.57 มิลลิกรัม/ลิตร
5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียส เท่ากับ 16.73 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของเวลาต่อการดูดซับนิกเกิลในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30	9.248	9.252	62.99	37.23	25.76
	9.256				
	9.252				
60	8.211	8.260	66.96	42.88	24.08
	8.301				
	8.268				
120	6.112	6.209	75.16	52.00	23.16
	6.205				
	6.310				
180	5.128	5.125	79.50	55.94	23.56
	6.351				
	5.122				
240	2.348	2.352	90.59	71.07	19.52
	2.355				
	2.353				
300	*1.367	1.629	93.48	73.5	17.88
	1.611				
	1.647				

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 30 นาที เท่ากับ 18.56 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 60 นาที เท่ากับ 18.98 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 120 นาที เท่ากับ 19.21 มิลลิกรัม/ลิตร
5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 180 นาที เท่ากับ 19.11มิลลิกรัม/ลิตร
6. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 240 นาที เท่ากับ 20.12 มิลลิกรัม/ลิตร
7. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 300 นาที เท่ากับ 20.53 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ต่อการดูดซับทองแดงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง-นิกเกิล ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
2..5	0.930	0.872	96.51	38.31	58.2
	0.814				
	*0.311				
5.0	*0.541	0.781	96.88	38.68	58.2
	0.752				
	0.810				
10.0	0.799	0.739	97.04	38.84	58.2
	0.763				
	0.655				
15.0	0.774	0.775	96.90	38.7	58.2
	0.776				
	*0.402				
20.0	0.512	0.511	97.96	39.76	58.2
	0.510				
	*0.221				
30.0	0.601	0.541	97.84	39.64	58.2
	0.481				
	*0.113				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ-คลคะกอน	ดูดซับ	คลคะกอน
40.0	*0.112	0.515	97.94	39.74	58.2
	0.541				
	0.489				
60.0	0.452	0.448	98.21	40.01	58.2
	*0.109				
	0.444				
90.0	0.122	0.134	99.46	41.26	58.2
	0.146				
	*0.412				
120.0	0.139	0.146	99.42	41.22	58.2
	0.153				
	*0.024				

หมายเหตุ 1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ

2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เท่ากับ 10.45 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับทองแดงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง-นิกเกิล ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30.0	0.138 0.129 0.138	0.135	99.46	38.31	58.2
40.0	0.231 0.239 *0.441	0.235	99.06	37.18	61.88
50.0	0.317 0.331 0.330	0.326	98.70	35.536	63.16
60.0	0.121 0.132 0.125	0.126	99.50	38.63	60.87

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ

2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เท่ากับ 10.45 มิลลิกรัม/ลิตร

3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 9.53 มิลลิกรัม/ลิตร

4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 9.21 มิลลิกรัม/ลิตร

5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 9.783 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของเวลาต่อการดูดซับทองแดงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง-นิกเกิล ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30	1.081	1.093	95.63	33.66	61.4
	1.105				
	*1.251				
60	0.618	0.613	97.55	34.82	61.48
	0.607				
	0.614				
120	0.345	0.338	98.65	39.13	59.52
	0.335				
	0.334				
180	0.442	0.435	98.26	39.54	58.72
	0.428				
	0.572				
240	0.547	0.554	99.63	36.39	61.4
	0.561				
	0.552				
300	0.125	0.135	99.46	38.31	58.2
	0.147				
	0.133				

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 30 นาที เท่ากับ 9.65 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 60 นาที เท่ากับ 9.63 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 120 นาที เท่ากับ 10.12 มิลลิกรัม/ลิตร
5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 180 นาที เท่ากับ 10.32 มิลลิกรัม/ลิตร
6. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 240 นาที เท่ากับ 9.65 มิลลิกรัม/ลิตร
7. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 300 นาที เท่ากับ 10.45 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของปริมาณเปลือกไข่ต่อการดูดซับนิกเกิลใน สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง-นิกเกิล ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ปริมาณตัวดูดซับ	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น	เปอร์เซ็นต์		
(g)	สารที่เหลือ(ppm)	เฉลี่ย(ppm)	ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
2.5	5.035	5.063	79.75	67.47	12.28
	5.062				
	5.072				
5	4.426	4.413	82.35	70.07	12.28
	4.321				
	4.491				
10	3.945	3.955	84.18	71.90	12.28
	3.923				
	3.997				
15	3.293	3.293	86.83	74.55	12.28
	3.301				
	3.293				
20	1.765	1.772	92.91	80.63	12.28
	1.782				
	1.767				
30	1.245	1.255	94.98	82.7	12.28
	1.256				
	1.263				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ (ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
40	1.215 1.013 1.135	1.121	95.52	83.24	12.28
60	0.795 0.775 * 0.985	0.785	96.86	84.58	12.28
90	0.315 0.324 * 0.356	0.319	98.72	86.44	12.28
120	0.452 0.445 0.438	0.445	98.22	85.94	12.28

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เท่ากับ 21.93 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับนิกเกิลในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง-นิกเกิล ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร เวลา 300 นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30	0.291	0.32	98.72	86.44	12.28
	0.365				
	0.304				
40	0.372	0.365	98.54	77.06	21.48
	0.361				
	0.367				
50	0.248	0.245	99.02	69.10	29.92
	0.252				
	0.235				
60	*0.228	0.145	99.42	67.86	31.56
	0.148				
	0.142				

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 30 ° C เท่ากับ 21.93 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 40 ° C เท่ากับ19.63 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับอุณหภูมิ 50 ° C เท่ากับ 17.52 มิลลิกรัม/ลิตร
5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ อุณหภูมิ 60 ° C เท่ากับ 17.11 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของเวลาต่อการดูดซับนิกเกิลในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง-นิกเกิล ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารที่เหลือ(ppm)	ความเข้มข้นเฉลี่ย(ppm)	เปอร์เซ็นต์		
			ดูดซับ+ตกตะกอน	ดูดซับ	ตกตะกอน
30	4.581	4.54	81.85	59.12	22.72
	4.462				
	4.56				
60	3.218	3.15	87.41	61.52	25.88
	3.110				
	3.12				
120	1.182	1.16	95.35	71.84	23.52
	1.14				
	*2.517				
180	0.322	0.34	98.64	80.40	18.24
	0.357				
	0.341				
240	0.357	0.355	98.58	79.86	18.72
	0.353				
	*0.671				
300	0.327	0.32	98.72	86.44	12.28
	0.319				
	0.314				

หมายเหตุ

1. * คือ ข้อมูลที่ไม่ทำการคำนวณ
2. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 30 นาที เท่ากับ 19.32 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 60 นาที เท่ากับ 18.53 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 120 นาที เท่ากับ 19.12 มิลลิกรัม/ลิตร
5. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 180 นาที เท่ากับ 20.44 มิลลิกรัม/ลิตร
6. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 240 นาที เท่ากับ 20.32 มิลลิกรัม/ลิตร
7. ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่ไม่เติมตัวดูดซับ เวลา 300 นาที เท่ากับ 21.93 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

SOLUBILITY PRODUCTS (Ksp) at 25 °C

Carbonates		Hydroxides	
$MgCO_3$	1.15×10^{-5}	$Ba(OH)_2$	5.0×10^{-3}
$NiCO_3$	1.45×10^{-7}	$Sr(OH)_2$	3.2×10^{-4}
$CaCO_3$	4.95×10^{-9}	$Ca(OH)_2$	7.88×10^{-6}
$BaCO_3$	2.60×10^{-9}	$Ag(OH)_2$	2.0×10^{-8}
$SrCO_3$	5.60×10^{-10}	$Mg(OH)_2$	5.66×10^{-12}
$CuCO_3$	2.5×10^{-10}	$Mn(OH)_2$	2.04×10^{-13}
$ZnCO_3$	2×10^{-10}	$Pb(OH)_2$	1.2×10^{-15}
$FeCO_3$	3.13×10^{-11}	$Co(OH)_2$	1.09×10^{-15}
$MnCO_3$	2.23×10^{-11}	$Ni(OH)_2$	5.54×10^{-16}
Ag_2CO_3	8.58×10^{-12}	$Zn(OH)_2$	7.68×10^{-17}
$CdCO_3$	6.20×10^{-12}	$Fe(OH)_2$	4.79×10^{-17}
$PbCO_3$	1.48×10^{-13}	$Cu(OH)_2$	1.6×10^{-19}
$*Hg_2CO_3$	9.0×10^{-15}	$Sn(OH)_2$	3×10^{-27}
		$Cr(OH)_2$	6.7×10^{-31}
		$Al(OH)_2$	2×10^{-32}
		$Fe(OH)_2$	2.67×10^{-39}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Equilibrium constants for $CaCO_3$

	Equilibrium constants, K					
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	40°C
$CaCO_{3(S)} = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$	4.47×10^{-9}	4.37×10^{-9}	4.47×10^{-9}	4.27×10^{-9}	3.8×10^{-9}	2.95×10^{-9}
$CaCO_{3(S)} + H^+ = Ca^{2+} + HCO_3^-$	165.96	134.90	114.82	97.72	81.28	48.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
วิธีคำนวณข้อมูล

1. วิธีการหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ+ตกตะกอน

$$\%\text{การดูดซับ+ตกตะกอน} = \frac{(25\ \text{ppm} - \text{ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ ppm})}{25} \times 100$$

2. วิธีการหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

%การดูดซับ = % ดูดซับร่วมกับตกตะกอน – % การตกตะกอน

3. วิธีการหาเปอร์เซ็นต์การตกตะกอน

$$\%\ \text{การตกตะกอน} = \frac{(25\ \text{ppm} - \text{ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในสารละลายที่ไม่ได้เติมตัวดูดซับ ppm})}{25} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้