

การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยโดไลไมท์



สุณี ถนอมวุฒิ  
อรอุมา ทิพย์มงคล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เลขที่ 2543  
เลขทะเบียน 40063  
วัน, เดือน, ปี 27 ก.ค. 2544

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF HEAVY METALS FROM INDUSTRIAL WASTEWATER BY DOLOMITE



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยโดโลไมท์

นักศึกษา นางสาวสุณี ธนอมวุฒิ

นางสาวอรอุมา ทิพย์มงคล

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติ

โครงการพิเศษ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

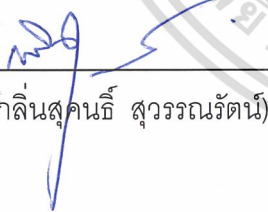
คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

หัวหน้าภาควิชาเคมี



(รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

ประธานกรรมการ



(อ.กัลลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์)

กรรมการ



(ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยโคโลไมท์

นักศึกษา

นางสาวสุณี ถนอมวุฒิ

นางสาวอรุมา ทิพย์มงคล

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำโคโลไมท์มาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และ ทองแดง โดยมีขั้นตอนการศึกษา 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกศึกษาการกำจัดตะกั่ว และ ทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินงาน ขั้นที่สอง คือ ทดลองกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ผลการศึกษากำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโคโลไมท์ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว และทองแดงเท่ากับ 2 ระยะเวลาการสัมผัสประมาณ 30 นาที ปริมาณโคโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัด ตะกั่ว และ ทองแดงเท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร และ 5 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 98.30 เปอร์เซ็นต์ และ 96.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การศึกษากำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดจะต่ำกว่าการทดสอบในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยคาดว่าโลหะหนักอื่นๆ ในระบบทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง

Special project Title	Removal of Heavy Metals from Wastewater by Dolomite
Name	Miss Sunee Tanomvut Miss Onuma Tipmongkol
Special project advisor	Asst.Prof.Dr. Suwan Chaiyasith
Department	Chemistry
Academic Year	2000

#### Abstract

The removal of lead and copper from wastewater by dolomite were investigated. Synthetic wastewater were used in order to study the optimum conditions for removing the heavy metals. The optimum condition that give the highest efficiency for removal heavy metals is as following : pH of solution was 2, suspended solid density for lead and copper removal were 7.5 g/l and 5 g/l respectively and contact time was 30 minutes. The removal efficiency were 98.3 and 96.45 for lead and copper respectively.

Efficiency of removal heavy metals from industrial wastewater was lower than from synthetic wastewater.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาและแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ดีในช่วงการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา จาก ผศ. ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ประธานกรรมการการสอบโครงการพิเศษ อ. กลิ่นสุคนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ตลอดจนตรวจรายละเอียดต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี เครื่องมือ และสถานที่สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ทำยนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลในครอบครัว ที่ให้ความรัก ความเข้าใจและเป็นกำลังใจมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX

บทที่ 1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ.....	1
---	---

1.1 บทนำ.....	1
---------------	---

1.2 วัตถุประสงค์.....	2
-----------------------	---

1.3 ขอบเขตของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
---	---

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน.....	2
---	---

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
------------------------------------	---

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
--	---

2.1 โลหะหนัก.....	3
-------------------	---

2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	4
--	---

2.2.1 การตกตะกอนทางเคมี.....	4
------------------------------	---

2.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน.....	4
-------------------------------	---

2.2.3 การออสโมซิสย้อนกลับ.....	5
--------------------------------	---

2.2.4 การระเหย.....	5
---------------------	---

2.2.5 อิเล็กโตรไลซิส.....	5
---------------------------	---

2.2.6 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า.....	6
------------------------------------	---

2.2.7 การดูดซับ.....	6
----------------------	---

2.3 การตกตะกอนทางเคมี.....	6
----------------------------	---

2.4 โดโลไมท์.....	9
-------------------	---

2.4.1 คุณสมบัติแร่โดโลไมท์.....	9
---------------------------------	---

2.4.2 การกำเนิดของแร่โดโลไมท์.....	10
------------------------------------	----

2.4.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่โดโลไมท์.....	10
---	----

2.4.4 คุณสมบัติทางเคมีของโดโลไมท์.....	11
--	----

2.4.5 ประโยชน์ของโดโลไมท์.....	11
--------------------------------	----

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินงาน.....	14
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ .....	14
3.2 ตัวอย่างและสารเคมี .....	15
3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	15
ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ โดโดไมท์ .....	15
ตอนที่ 2 การกำจัด โลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์.....	15
- การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัด โลหะหนัก 2 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และ ทองแดง .....	15
- การศึกษาเวลาการสัมผัสในการกำจัด ตะกั่วและทองแดง .....	16
- การศึกษาปริมาณ โดโดไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัด โลหะหนัก.....	16
- การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของ โลหะหนักที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัด โลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์.....	16
- การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด โลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด.....	17
ตอนที่ 3 การกำจัด โลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ โดโดไมท์.....	17
- การวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักเริ่มต้นในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม.....	17
- การกำจัด โลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยโดโดไมท์.....	18
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	19
4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ โดโดไมท์.....	19
4.2 ผลการศึกษาการกำจัด โลหะในน้ำเสียสังเคราะห์.....	20
4.2.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัด โลหะหนัก 2 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และ ทองแดง .....	20
4.2.1.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัด ตะกั่วในน้ำ เสียสังเคราะห์.....	20
4.2.1.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัด ทองแดง .....	21
4.2.2 ผลการศึกษาผลของเวลาสัมผัสในการกำจัด โลหะหนักในน้ำเสีย สังเคราะห์.....	23
4.2.2.1 ผลการศึกษาผลของเวลาสัมผัสในการกำจัด ตะกั่วในน้ำ เสียสังเคราะห์.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

4.2.2.2 ผลการศึกษาผลของเวลาสัมผัสในการกำจัดทองแดงใน น้ำเสียสังเคราะห์.....	23
4.2.3 ผลการศึกษาปริมาณ โคลโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และ ทองแดง .....	24
4.2.3.1 ผลการศึกษาปริมาณ โคลโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัด ตะกั่ว.....	24
4.2.3.2 ผลการศึกษาปริมาณ โคลโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัด ทองแดง .....	25
4.2.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักต่าง ๆ กัน.....	26
4.2.4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วต่าง ๆ กัน.....	26
4.2.4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในน้ำเสีย สังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง ต่าง ๆ กัน.....	26
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะ หนัก 2 ชนิด.....	27
4.3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อมีความเข้มข้นของ ทองแดง ต่าง ๆ กัน.....	27
4.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง เมื่อมีความเข้มข้น ของตะกั่วต่าง ๆ กัน.....	28
4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักด้วยโคลโลไมท์ในน้ำทิ้ง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	31
5.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก.....	31
5.1.2 การศึกษาเวลาในการสัมผัส.....	31
5.1.3 การศึกษาปริมาณ โคลโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก.....	31
5.1.4 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว และ ทองแดง ที่มีผลต่อประสิทธิ ภาพในการกำจัด.....	31
5.1.5 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 2 ชนิด ใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

5.1.6 การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....	32
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ก.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กัน ที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	34
ก.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กัน โดยเติม โดโลไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	35
ก.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กัน ที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	36
ก.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กัน โดยเติมโดโลไมท์ 5.0 กรัม ต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	37
ข.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาการเขย่าต่าง ๆ กัน ที่ค่า พีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาณโดโลไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร.....	38
ข.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดคอปเปอร์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาการเขย่าต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นคอปเปอร์เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ ปริมาณโดโลไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร.....	39
ค.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อปริมาณโดโลไมท์ต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	40
ค.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดคอปเปอร์ในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อปริมาณโดโลไมท์ต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นคอปเปอร์เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	40
ง.1 แสดงปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณโดโลไมท์เท่ากับ 5.0 กรัมต่อลิตร.....	41
ง.2 แสดงปริมาณทองแดงที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้น เริ่มต้นของตะกั่ว ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณโดโลไมท์เท่ากับ 5.0 กรัมต่อลิตร.....	41
จ.1 แสดงปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น เริ่มต้นต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณโดโลไมท์เท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร.....	42
จ.2 แสดงปริมาณทองแดงที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น เริ่มต้นต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณโดโลไมท์เท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร.....	43
ช.1 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด โลหะหนัก ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....	44
ช. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539).....	45

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับค่าพีเอชต่างๆ กันที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	21
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงกับค่าพีเอชที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	22
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับเวลา เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	23
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงกับเวลา เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	24
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อใช้ปริมาณ โคลโลไมท์ที่ต่าง ๆ กัน ในการกำจัดตะกั่ว เพื่อที่จะนำไปใช้ในการทดลองหัวข้อต่อ ๆ ไป.....	25
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง เมื่อใช้ปริมาณ โคลโลไมท์ ที่ต่าง ๆ กัน.....	25
4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อมีความเข้มข้นของตะกั่วต่าง ๆ กัน.....	26
4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อมีความเข้มข้นของทองแดงต่าง ๆ กัน.....	27
4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว เมื่อมีความเข้มข้นของทองแดงต่าง ๆ กัน.....	28
4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อมีความเข้มข้นของตะกั่วต่าง ๆ กัน.....	29
4.11 ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่ว และทองแดงในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....	30

## บทที่ 1

### ความสำคัญ และที่มาของโครงการพิเศษ

#### 1.1 บทนำ

ปัจจุบันปัญหาโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล ฯลฯ ยังคงมีแนวโน้มว่าจะก่อปัญหาให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก โดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางห่วงโซ่อาหาร ทำให้เกิดภาวะที่ผิดปกติไปจากธรรมชาติ

กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การใช้กระบวนการกรองผ่านแผ่นเมมเบรน (Membrane Filtration) การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis) และการสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery) เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนตลอดจนใช้เทคโนโลยี รวมทั้งต้องมีการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำของเสียที่เกิดขึ้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ และเป็นการช่วยจัดการกับของเสียเหล่านั้นอีกทางหนึ่ง

เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งแร่โคโลไมท์ค่อนข้างมาก เช่น ตำบลน้ำร้อนและท่าโรง อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดนครราชสีมา เป็นแหล่งแร่โคโลไมท์โดยมีเปลือกดินบาง ๆ หนา 1 เมตรปิดทับอยู่ข้างบนชั้นแร่โคโลไมท์ผุ ซึ่งหนาประมาณ 6-9 เมตร ลึกลงไป เป็นชั้นแร่โคโลไมท์แข็ง สำหรับปริมาณแร่สำรองที่สามารถทำเหมืองได้คาดว่าไม่น้อยกว่า 8 ล้านตัน [1] นอกจากนี้ยังมีที่ เขาขวาง อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ตำบลปากแพรก ตำบลเกาะสำโรง และตำบลวังดั่ง อำเภอเมือง และตำบลเขาน้อย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี [2] เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการนำเอาโคโลไมท์ มาใช้ประโยชน์ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย 2 ชนิด คือ ตะกั่ว และ ทองแดง

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

นำโดโลไมท์มาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด โลหะหนักให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิด
2. ศึกษาการกำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และทองแดง ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยโดโลไมท์
3. ศึกษาปริมาณ โดโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิด
4. พิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโดโลไมท์

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

นำโดโลไมท์มาใช้ในการกำจัด ตะกั่ว และ ทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดโลหะหนัก ได้แก่ ค่าพีเอชที่เหมาะสม ระยะเวลาในการสัมผัส ปริมาณโดโลไมท์ที่เหมาะสม ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วจึงทดลองกำจัด ตะกั่ว และ ทองแดงในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประยุกต์ใช้วัสดุธรรมชาติที่มีราคาถูกในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้ง
2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โดโลไมท์กำจัดโลหะหนัก
3. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดโลหะหนัก และอาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนัก ส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญคือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมได้เป็น 2 กลุ่ม คือ โลหะหนักที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Sn, Te, และ Zn และกลุ่มโลหะหนักที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U

ความเป็นพิษของโลหะเหล่านี้ เป็นผลเนื่องมาจากที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาของโลหะเหล่านี้ ก็คือ จากกระบวนการอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นจึงปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศและผลผลิตทางการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ และมีผลกระทบต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์ถึงมีชีวิต

#### ตะกั่ว

##### เทคโนโลยีการกำจัด

เทคโนโลยีการกำจัดตะกั่ว ในกระบวนการกำจัดตะกั่วที่สามารถละลายน้ำได้นิยมกำจัดโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีแล้วจึงกำจัดตะกอนต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนได้แก่ หินปูน หรือโซดาไฟ ซึ่งการตกตะกอนในรูป Lead Hydroxide หรือ Lead Carbonate เป็นต้น หรืออาจมีการใช้ Alum, Ferrous และ Ferric Sulfate เป็นตัวที่ทำให้ตะกอนได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังสามารถ

เอกสารนี้จัดทำด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออนได้เช่นเดียวกันนั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทองแดง

### เทคโนโลยีการกำจัด

เทคโนโลยีการกำจัดทองแดง ในกระบวนการกำจัดทองแดงสามารถทำได้โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี แล้วจึงกำจัดตะกอนต่อไป หรืออาจเป็นวิธีการกำจัดด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเช่นกัน

## 2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย มีหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ ได้แก่คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

### 2.2.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

เป็นวิธีที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน กระบวนการนี้จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนสภาพของสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในรูปของสารละลาย (Soluble) ให้สารอยู่ในรูปที่ไม่ละลาย (Insoluble) โดยวิธีการเติมสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธีด้วยกัน คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation) และการตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

### 2.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากัน ซึ่งสารแลกเปลี่ยนไอออนจะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์ จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่ และจะถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้าม ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงข้ามนี้เป็นไอออนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บวก จะเรียกว่า แคทไอออนเอกเซนเจอร์ (Cation Exchanger) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวก จะเรียกว่า แอนไอออนเอกเซนเจอร์ (Anion Exchanger) วิธีเหมาะสำหรับกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงนิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเรซิน เพื่อจะทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

### 2.2.3 การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลส อะซิเตด และโพลีเอมีน ซึ่งเฉพาะตัวทำลายจะผ่าน Semipermeable Membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้ต้องใช้ความดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องมีการปรับค่าพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออก และกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า น้ำเสียจากการล้างภาพ

### 2.2.4 การระเหย (Evaporation)

วิธีการระเหยน้ำออกนี้เป็นวิธีที่ง่าย ๆ ที่ใช้ในการทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งระเหยที่บรรยากาศ (Atmospheric Evaporation) และการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporation) วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูง ๆ เท่านั้น แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

### 2.2.5 อิเล็กโทรไลซิส (Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นวิธีการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยสารละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและการดำเนินงานสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

### 2.2.6 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

### 2.2.7 การดูดซับ (Adsorption)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับมักเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ถ่านที่ใช้มี 2 ลักษณะ คือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ด (Granular Carbon) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร และแบบคาร์บอนเป็นผง (Powder Carbon) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 200 ไมครอน ซึ่งทำจากเมล็ดของแอลมอนด์ เปลือกถั่ว กะลามะพร้าว ไม้อื่น ๆ หรือถ่านทั่วไป โดยถูกนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้ได้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมาก ๆ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้มีขนาดพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม

## 2.3 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

ทฤษฎีและหลักการทำงาน

การตกตะกอน (precipitation) เป็นขบวนการฟิสิกส์-เคมี ที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลาย (dissolved) ให้มาอยู่ในสถานะของแข็ง ซึ่งแยกออกได้จากสารละลายนั้นขบวนการ precipitation ขึ้นอยู่กับสถานะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายน้ำของสารนั้น ๆ ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายวิธีโดยอาจจะเป็นไปตามขั้นตอนใดตอนหนึ่ง หรือหลายขั้นตอนรวมกันดังต่อไปนี้

1. ใส่น้ำซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่อยู่ในสารละลาย เพื่อให้สารนั้นละลายน้ำได้น้อยลง
2. ใส่น้ำซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะสมดุลของความสามารถในการละลายน้ำ (solubility equilibrium) ให้เลื่อนมาจนถึงจุดซึ่งสารที่ละลายอยู่ในน้ำสามารถละลายอยู่ได้อีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

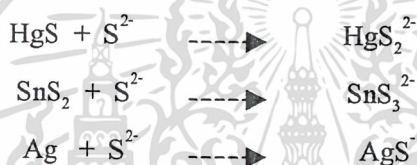


### การนำไปใช้งานและการควบคุมการทำงาน

สารพวกโลหะหนักมักจะแยกออกจากน้ำได้ด้วยขบวนการ precipitation โดยทำให้อยู่ในรูปซึ่งไม่ละลายน้ำ (insoluble) เช่น hexavalent chromium ( $\text{Cr}^{6+}$ ) สามารถละลายน้ำได้สูงกว่าในรูป trivalent ( $\text{Cr}^{3+}$ ) เป็นต้น

เนื่องจากการเกิด precipitation ชั้นแรกนั้น จะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นแรง zeta potential ซึ่งมีผลทำให้สารที่แยกตัวออกมาจากสารละลายแล้ว ยังคงอยู่ในรูปของ colloidal หากไม่กำจัดโดยการทำให้ neutralization, coagulation และ flocculation ให้ดีแล้ว จะทำให้อนุภาคเหล่านี้หลุดออกมากับน้ำทิ้งได้

นอกจากนี้ ในบางกรณีการทำ precipitation จะเกิดเป็น complex ions ซึ่งยังคงละลายอยู่ในน้ำ เช่น  $\text{HgS}_2^{2-}$ ,  $\text{SnS}_3^{2-}$ ,  $\text{AgS}^-$  ตามสมการ



การแยกโลหะต่างๆ เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง อาร์เซนิก ตะกั่ว นิกเกิลออกจากสารละลายนิยมทำในรูปของ hydroxide โดยการใช้น้ำขุ่นเป็นทั้งตัวปรับ pH ให้มีค่าประมาณ 11 และใช้เป็น coagulant เพื่อรวมตัวของอนุภาคที่ precipitate แล้วให้ใหญ่ขึ้นแต่จะมีตะกอนเกิดขึ้นมาก การใช้โซดาไฟเพื่อปรับค่า pH ให้สูงขึ้นและใช้ polyelectrolyte ในการ coagulation และ flocculation สามารถแก้ปัญหาเรื่องตะกอนได้ แต่เสียค่าใช้จ่ายในการทำงานสูงขึ้น

การทำ precipitation ของโลหะต่างๆ โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ sulfide ทำได้โดยการเติมสารประกอบ sulfide ที่ละลายน้ำได้ เช่น sodium sulfide ลงไปทำปฏิกิริยากับโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าการทำให้อยู่ในรูปของ hydroxide แต่ที่ไม่นิยมใช้กันเนื่องจากขณะทำงานจะมีกลิ่นเหม็นของ hydrogen sulfide หรือแก๊สไข่เน่าออกมา นอกจากนั้นยังเกิด complex ions ต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามถ้าจำเป็นจะต้องใช้วิธีนี้ก็สามารรถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้แต่มีความยุ่งยากมาก จึงไม่ขอนำมากล่าวในที่นี้

วิธีการทำงานสามารถทำได้ทั้งแบบเป็นครั้ง (batch) และแบบต่อเนื่อง (continuous) ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำเสียโดยปกติเมื่อผ่านกระบวนการ precipitation แล้วน้ำเสียนั้นจะต้องส่งไปเข้ากระบวนการ coagulation, flocculation, sedimentation และ filtration อีก ตามความจำเป็นและตามมาตรฐานน้ำทิ้ง สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

coagulation จะต้องเลือกตัวซึ่งสามารถทำงานได้ในค่า pH สูง เช่น ปูนขาว ส่วนสารส้มหรือ สารประกอบของเหล็กทั้งหลาย จะมีค่า solubility สูง เมื่อค่า pH เกิน 9 จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้

## 2.4 โดโลไมท์ (Dolomite) [2]

ในอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป Limestone และ Dolomite ซึ่งพอจะเรียกรวมว่าหินคาร์บอเนต (Carbonate Rock) จัดว่าหินที่ให้ประโยชน์มากที่สุด เมื่อเทียบกับหินและแร่อุตสาหกรรมอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมก่อสร้างนำหินคาร์บอเนตมาใช้ในการทำเป็นหินย่อย เมื่อผสมกับซีเมนต์ทำคอนกรีต และใช้ทำถนน ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำซีเมนต์ (Portland Cement), ปูนขาว และหินประดับในการก่อสร้างนอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว, กระจก, วัสดุทนไฟ, ผงขัด ตลอดจนนำมาใช้ด้านการเกษตร เช่นใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner)

สำหรับแร่โดโลไมท์ เป็นการขากยี่ห้อที่จะแยกลักษณะพิเศษเกี่ยวกับคุณสมบัติและคุณประโยชน์ของมันออกมาจาก Carbonate rock โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หินปูน เนื่องจากโดยมากมักจะกล่าวรวมกันเป็น Carbonate Rock

เมื่อก้าวถึงคำว่า Dolomite จะมีความหมายอยู่สองประการคือ

- กล่าวถึงชื่อแร่โดยตรงซึ่งมีสูตรทางเคมีเป็น  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- กล่าวถึงหินคาร์บอเนตที่มีองค์ประกอบของแร่ Dolomite มากกว่า 50 %

### 2.4.1 คุณสมบัติแร่โดโลไมท์

- รูปผลึกอยู่ในระบบ hexagonal ปกติพบอยู่ในรูปผลึกของ rhombohedral ที่มีผิวหน้าโค้ง
- ความแข็งตามมาตรฐานของ Mohs's scale ประมาณ 3.5 - 4
- ความถ่วงจำเพาะ 2.82
- สีขาวหรือสีชมพู
- ธาตุเจือปนที่พบอยู่เสมอมี Fe, Mn, Co, Zn, Pb

คุณสมบัติบางประการที่ใช้แยกโดโลไมท์ ซึ่งเกิดอยู่กับ calcite ได้ คือ คุณสมบัติเกี่ยวกับการละลายในกรดเกลือเจือจาง โดโลไมท์ ละลายในกรดเกลือเจือจางได้ไม่ดีเท่า calcite วิธีแยกโดโลไมท์ ออกจาก calcite และแร่คาร์บอเนตอื่น ๆ ที่นิยมใช้กันมากคือการย้อมสี (Staining method) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ผิวของหินคาร์บอเนต โดยผิวที่ทำการเชื่อมต้องเป็นผิวสด ตัวโคโลไมท์ และแร่คาร์บอเนตอื่น ๆ จะต้องมีคุณสมบัติในการติดลึที่เชื่อมแตกต่างกันออกไป ตามชนิดของสารที่ใช้

#### 2.4.2 การกำเนิดของแร่โคโลไมท์

แร่โคโลไมท์เป็นผลทางอนินทรีย์ (inorganic Product) ที่เกิดขึ้นในเขตระดับน้ำขึ้นน้ำลงของทะเลในโซนร้อน (superheated intertidal localities) โดยมีการเกิดเป็นผลึกเล็ก ๆ กระจุกกระจายอยู่ตามเขตน้ำลึกได้เช่นกันแต่พบน้อยมาก

จากสูตรทางเคมีของโคโลไมท์  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  ปริมาณ Mg ที่อยู่ในโครงสร้างของผลึก calcite นั้นมากน้อยแตกต่างกัน พอจะแยกได้ดังนี้

- High-Mg Calcite จะเป็น calcite ที่มีปริมาณของ  $\text{MgCO}_3$  มากกว่า 8 mole%
- Low-Mg Calcite เป็น calcite ที่มีปริมาณของ  $\text{MgCO}_3$  น้อยกว่า 8 mole%

$\text{MgCO}_3$  เหล่านี้จะอยู่ใน calcite lattice ที่มีปริมาณของ Mg ที่แทนที่ Ca ในโครงสร้างของแร่ calcite แร่โคโลไมท์โดยทั่ว ๆ ไปจะมี  $\text{MgCO}_3$  อยู่มากกว่า 40 % โดยน้ำหนัก และแร่ High-Mg Calcite จะมี  $\text{MgCO}_3$  อยู่ประมาณ 20 - 30 % โดยน้ำหนัก

#### 2.4.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่โคโลไมท์

ในการหาคุณสมบัติทางกายภาพของโคโลไมท์และหินคาร์บอเนตนั้นขึ้นอยู่กับประโยชน์ที่จะนำไปใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำมาใช้เป็นหินก่อสร้าง ซึ่งวิศวกรและสถาปนิกก่อสร้างต้องการทราบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพบางประการของหินเพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกวัสดุคุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่

- สี
- คุณสมบัติการดูดซึม (absorption)
- ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)
- ความหนาแน่น (density)
- ความแข็งแรงต่อการอัด (compressive strength)

นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพอีกมาก ที่สามารถนำไปเป็นข้อมูล ประยุกต์ใช้กับด้านอื่น ๆ เช่นทางธรณีฟิสิกส์ คุณสมบัติพวกนี้ได้แก่ Modulus of rupture, tensile strength, abrasive, Young Modulus, Modulus of rigidity, Poisson ' s ratio, Longitudinal bar velocity

วิธีการหาคุณสมบัติเหล่านี้ของหิน มีองค์การหรือหน่วยงานต่าง ๆ ได้กำหนดวิธีมาตรฐาน

ไว้ใช้ในการทดสอบ ที่นิยมใช้กันมากเป็นของ the American Society for Testing and Material เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่จนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(A.S.T.M.). U.S. Bureau of Mines วิธีมาตรฐานเหล่านี้ได้รับการตีพิมพ์ออกมาในรูปแบบ cook book แต่ในการเลือกวิธีใดมาใช้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของห้องทดลองแต่ละแห่ง ในด้านเครื่องมือเครื่องใช้ หรืออาจขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัสดุเองที่ทำให้วิธีทดสอบต่าง ๆ เหล่านี้แตกต่างกันออกไป

ตัวอย่างคุณสมบัติทางกายภาพบางอย่างของโคโลไมท์

- porosity 8.6 %
- Bulk density 2.54 (dry), 2.63 (Saturated with H<sub>2</sub>O)
- Young ' s modulus 7.10 dynes/cm<sup>2</sup>
- Modulus of rigidity 3.23 dynes/cm<sup>2</sup>
- Dielectric constant 7.3

#### 2.4.4 คุณสมบัติทางเคมีของโคโลไมท์

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของหินคาร์บอนेट โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมีผลกระทบบต่อกัน และกัน บางครั้งมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน แต่ลักษณะทางกายภาพต่างกันออกไปทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่างกันอย่างได้ คุณสมบัติทางกายภาพและลักษณะแร่ (mineralogy) จึงเป็นสิ่งที่จะนำมาประกอบรวมกันในการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีของโคโลไมท์จะเน้นหนักไปทางใดก็ขึ้นอยู่กับว่า ผู้ที่จะนำโคโลไมท์ไปใช้ในการทราบองค์ประกอบทางเคมีตัวใดบ้าง ในอุตสาหกรรมบางประเภทจะมีการกำหนดมาตรฐานไว้ในสภาพทั่ว ๆ ไปว่าต้องการองค์ประกอบอย่างไรเท่าใด เช่นระบุถึงปริมาณ MgO, CaO เป็นหลักตลอดจนถึงมีการจำกัดปริมาณของพวก impurities อื่น ๆ เช่น Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S อีกด้วย

#### 2.4.5 ประโยชน์ของโคโลไมท์

##### 2.4.5.1 ใช้ในทางอุตสาหกรรมก่อสร้าง

- ใช้เป็นตัวประสานให้เป็นก้อน (aggregate) สำหรับสร้างถนนและคอนกรีต การใช้ประโยชน์ในลักษณะนี้ต้องการหินที่มีความทนทานต่อการขัดสี (abration) การสึกกร่อนสลายตัว มี roundness สูงขนาดของวัสดุแตกต่างกันไปตามลักษณะงาน และในทางเคมีแล้วโคโลไมท์จะต้องไม่มีสารที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของตัวมันเอง สารพวกนี้ ได้แก่ shale, clay, chert, pyrite
- ใช้ทำหินประดับ (dimension stone) หินที่ใช้ต้องเป็นหินที่ทนทานต่อการสึกกร่อน (weathering) และไม่มีสารเจือจางที่จะเกิดปฏิกิริยากับภายนอกแล้วทำให้ความทนทานและคงรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของหินเสียไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบของเหล็กจะต้องมีน้อยมากนอกจากนี้ในการที่จะใช้เป็นหินเกล็ด จะต้องมีส่วนที่เป็นที่ดึงดูดใจอีกด้วย

#### 2.4.5.2 ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว โดยใช้เป็นตัวผสมทำให้แก้วชนิดพิเศษ

#### 2.4.5.3 ใช้ประโยชน์ทางเคมี

- ใช้ในการกรองน้ำให้บริสุทธิ์ ใช้ในการทำกระดาษ โดยใช้สารละลายของ Magnesium และ calcium bisulphite ซึ่งเตรียมจาก โคลโลไมท์ ใน sulphite process
- ใช้ในการเตรียม Magnesium salt

#### 2.4.5.4 ใช้ในทาง ceramic และ refractories

- ทาง refractories และการทำ calcined dolomite ต้องการโคลโลไมท์ที่มีขนาดผ่านตะแกรง 0.75 นิ้ว และพวกขนาดละเอียดถูกแยกออกไปเมื่อเผาแล้ว ไม่แตกหลุดออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย องค์ประกอบทางเคมีต้องมี MgO มากกว่า 20 % , S น้อยกว่า 0.05 % , Silica น้อยกว่า 2 %
- ในการทำ dead burned Dolomite ขนาดของหินโคลโลไมท์ แตกต่างกันไปตามความต้องการแต่โดยทั่วไป diameter ไม่ควรต่ำกว่า 0.5 นิ้ว มี  $MgCO_3$  ,มากกว่า 35 % ,  $SiO_2$  น้อยกว่า 1 % ,  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$  น้อยกว่า 1.5 %

#### 2.4.5.5 ใช้ในทางเกษตร

- โคลโลไมท์เป็นปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีราคาถูก และช่วยลดความเป็นกรดในดิน นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับปุ๋ยผสม เพื่อลดฤทธิ์ซึ่งเป็นกรดซึ่งอยู่ในปุ๋ย แล้วยังเพิ่มธาตุแมกนีเซียมในปุ๋ยผสมนั้นด้วย
- ใช้โคลโลไมท์ในการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งโคลโลไมท์ที่นำมาใช้จะต้องนำมาผา่ก่อนประโยชน์โคลโลไมท์ที่ใช้ในนาุ้งคือ ช่วยปรับสภาพบ่อที่มีดินเป็นกรดให้เป็นกลาง (พีเอช 6.5 – 7.0) ซึ่งเหมือนกับปูนทั่ว ๆ ไป แมกนีเซียมในโคลโลไมท์จะเป็นแร่ธาตุรองชนิดหนึ่งช่วยปรับและรักษาสมดุลของกรดต่างในดินและพืชน้ำ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ เมื่อพืชน้ำมีสีเขียวเข้มขึ้นก็จะทำให้สามารถรับพลังจากแสงแดดมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น พืชน้ำจะช่วยดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ และยังเป็นอาหารกุ้งและปลาโดยธรรมชาติได้อีกต่อหนึ่ง

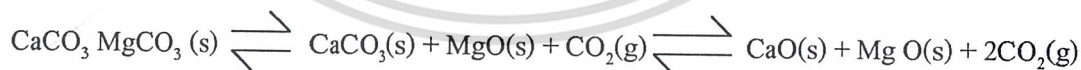
## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.M.Dziubek and A.L.Kowal (1983) [3] การกำจัดความขุ่น สี และสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติ ด้วยวิธีการเร่งการตกตะกอน และดูดซับด้วย soft-burned และ wet-slaked dolomite ผลการทดลองจากการใช้โดโลไมท์เร่งการตกตะกอน pH สูงสุดอยู่ในช่วง 10.2 ถึง 10.8

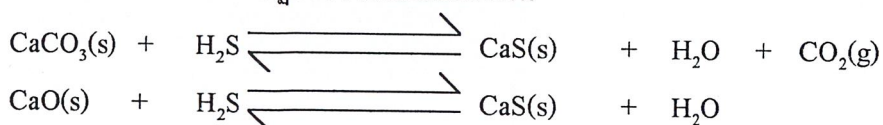
Dieter Schinkitz and Leverkusen (1994) [4] ศึกษาการใช้โดโลไมท์ในการปรับค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการเตรียมไททานเนียมไดออกไซด์ ที่มีไอออนโลหะหนักโครเมียม วานเดียมและไททานเนียมปนอยู่ ซึ่งน้ำทิ้งนี้ปะปนด้วยซัลเฟตและคลอไรด์ทำให้มีฤทธิ์เป็นกรด การเติมผงโดโลไมท์เป็นการทำ Pre-neutralize ให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีค่าประมาณ 3 แล้วจึงนำไปบำบัดต่อไป

Laurent A.Fenouil and Scott Lynn (1995) [5] ศึกษาการนำตัวดูดซับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ปูนขาว ( $\text{CaCO}_3$ ) , ปูนขาวโดโลไมติก [ $(\text{MgCO}_3\text{-CaCO}_3)(\text{CaCO}_3)_3$ ] และ โดโลไมท์ ( $\text{MgCO}_3\text{-CaCO}_3$ ) มาใช้เป็นตัวดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ calcination ( $900^\circ\text{C}$  , 1 bar) ซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของ Mg ต่อ Ca มีค่าเพิ่มมากขึ้น

K.Patrik Yrjas, Cornelis A.P.Zevenhoven and Mikko M.Hupa (1996) [6] ศึกษาการนำโดโลไมท์มากำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากแก๊สผลิตภัณฑ์ ในกระบวนการเตรียมแก๊สเชื้อเพลิง โดยกำจัดทั้งภายในเตาหลอม และภายในระบบการทำความสะอาดแก๊สซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมซัลไฟด์ ( $\text{CaS}$ ) โดยโดโลไมท์จะเกิดการสลายตัวดังนี้



Oxides ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยา sulfidation ดังนี้



$\text{CaS}$  ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็น  $\text{CaSO}_4$  ที่มีความเสถียรและสามารถกำจัดออกได้

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินงาน

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrophotometer บริษัท Fison รุ่น ARL8410
2. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer บริษัท Shimudzu รุ่น AA-680
3. เครื่องเขย่า (Orbital Shaker) GALLENKAMP รุ่น A007452
4. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) Denver รุ่น 215 pH meter
5. เครื่อง Small Bench Centrifuge รุ่น VARISPEED
6. เครื่อง Fisher stirring Hotplate
7. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด (Analytical balance) Precisa 205A
8. ขวดรูปชมพู่ (flask)
9. Holder filter และเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน
10. Sieve ขนาด 230 เมช
11. Microwave Digester Unit Milestone รุ่น MLS-1200, พร้อม Roter ชนิด MDR-1000/6/100/110 (PN 34134)
12. ปิเปต (pipet, pipette)
13. บิวเรต (buret, burette)
14. บีกเกอร์ (beaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ตัวอย่างและสารเคมี

1. ตัวอย่างโคโลไมท์จากเหมืองโรจน์รพี จังหวัดเพชรบูรณ์
2. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว และทองแดง, Spectro Grade ของบริษัท Merck
3. กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ), Analytical Reagent Grade ของบริษัท J.T.Baker
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ), Analytical grade ของบริษัท Merck
5. น้ำกลั่น
6. กรดไฮโดรฟลูออริก ( $\text{HF}$ ), Analytical Reagent Grade ของบริษัท Merck
7. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), Analytical Reagent Grade ของบริษัท Merck

### 3.3 ขั้นตอนการวิจัย

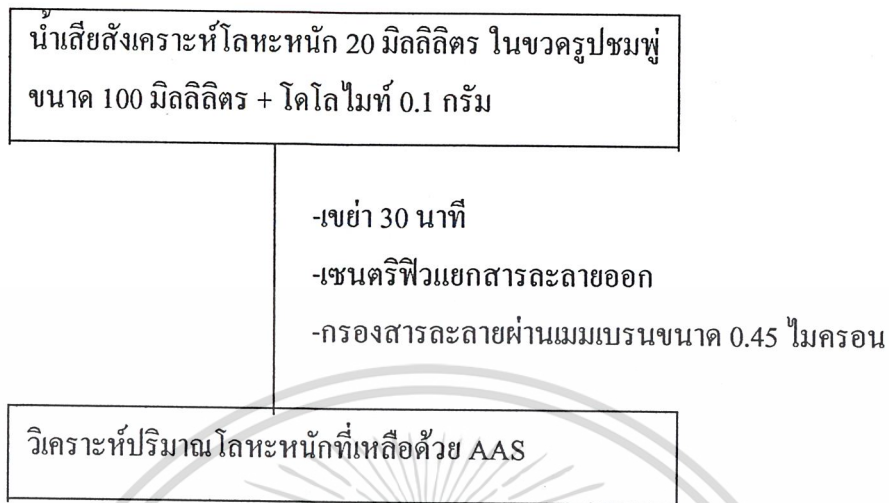
ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโคโลไมท์

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโคโลไมท์ โดยใช้เทคนิค Spectrophotometry X-ray Fluorescence

ตอนที่ 2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียดังเคราะห์

2.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และทองแดง

ศึกษาผลของค่าพีเอชในการกำจัดโลหะหนักมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียดังเคราะห์ โดยปรับค่าพีเอชของสารละลายด้วยกรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 1-12 โดยใช้ปริมาณโคโลไมท์ 5 กรัมต่อลิตร เขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่และทำการวิเคราะห์ ปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (AAS) โดยทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนัก ตามขั้นตอนดังนี้



รูป 3.1 ขั้นตอนการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโดโลไมท์

## 2.2 การศึกษาเวลาการสัมผัสในการกำจัดตะกั่วและทองแดง

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด ตะกั่วและทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปรับ พีเอช ให้ได้ค่าที่เหมาะสม จากการศึกษาในหัวข้อที่ 2.1 ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และแปรเปลี่ยนเวลาในการเขย่า 5 , 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, และ 60 นาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองตามขั้นตอนรูปที่ 3.1 และหาเวลาการสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัด ตะกั่วและทองแดง

## 2.3 การศึกษาปริมาณ โดโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก

ศึกษาปริมาณโดโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว และทองแดงโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น ของโลหะหนักเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้ค่าที่เหมาะสมจากผลการทดลองในข้อ 2.1 และแปรเปลี่ยนปริมาณโดโลไมท์ในอัตราส่วนโดโลไมท์ต่อน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 กรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองตามขั้นตอนในรูปที่ 3.1 และหาปริมาณโดโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วและคอปเปอร์

## 2.4 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว และทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ปริมาณโดโลไมท์ที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.3 และค่าพีเอชที่เหมาะสมจากการศึกษาในข้อ 2.1 โดย

ใช้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว และทองแดง เท่ากับ 5, 10, 15, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองตามขั้นตอนในรูปที่ 3.1

2.5 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิดรวมกัน

เนื่องจากในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วอาจจะมีโลหะหนักปนอยู่มากกว่า 1 ชนิด ขึ้นอยู่กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ซึ่งอาจทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ด้วยโคโโลไมท์ดังนั้นในการทดลองต่อไปนี้ จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการ กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีโลหะหนักอยู่รวมกัน 2 ชนิด โดยจะใช้สภาวะในการทดลอง คือ ค่าพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายจากการทดลองในข้อ 2.1 เขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่ จากการศึกษาในหัวข้อ 2.2

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักเมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด ในสารละลาย โดยแบ่งเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อทองแดงรวมอยู่ด้วยที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการกำจัดคอปเปอร์เมื่อมีตะกั่วรวมอยู่ด้วยที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นกัน

### ตอนที่ 3 การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โคโโลไมท์

การกำจัดโลหะหนัก ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักเริ่มต้น และหลังจากการทดสอบการกำจัดด้วยโคโโลไมท์ ดังนี้

#### 3.1 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

ปีเปิดน้ำตัวอย่างมา 5 มิลลิลิตร ใส่ใน Vessel แล้วเติมกรดไนตริก 68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 8 มิลลิลิตร กรดไฮโดรฟลูออริก 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 2 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 2 มิลลิลิตร ปิดฝา Vessel ให้สนิท นำเข้าเครื่อง Microwave Digester เปิดเครื่อง Microwave ทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.1 (โดยใช้โปรแกรมในการย่อยตามคู่มือ Microwave Digester)

เมื่อเสร็จการทำงานตาม โปรแกรม นำ Vessel ออกมาวางในตู้ควัน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำมาหล่อเย็นด้วยน้ำอีก 10 นาที ทำการปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 โปรแกรมการย่อยน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยเครื่อง Microwave Digester

Step	Time(hh:mm:ss)	Power(watts)	Press	Temp 1	Temp 2
1.	00:01:00	250	0	0	0
2.	00:02:00	0	0	0	0
3.	00:06:00	250	0	0	0
4.	00:05:00	400	0	0	0
5.	00:05:00	650	0	0	0
vent	00:05:00				

### 3.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยโคโลไมท์

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีตะกั่ว และ คอปเปอร์ โดยใช้ปริมาณโคโลไมท์ จากผลการทดลองในข้อ 3.4.2 ทำการทดสอบการกำจัดโลหะหนัก ตามขั้นตอน ในรูปที่ 3.1 นำส่วนสารละลายมาย่อยด้วยเครื่อง Microwave Digestion และ วิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.1

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโคโลไมท์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโคโลไมท์ โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence Spectrometry ผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบหลักของโคโลไมท์ ประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$  35.9 % และองค์ประกอบรองประกอบด้วย CaO และ MgO ในปริมาณ 31.4 % และ 15.8 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของโคโลไมท์

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
$\text{SiO}_2$	35.9
CaO	31.4
MgO	15.8
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9.57
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5.31
$\text{TiO}_2$	1.28
$\text{K}_2\text{O}$	0.495
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์

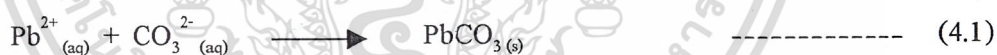
4.2.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และ ทองแดง

การศึกษาการกำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว และ ทองแดง โดยการปรับพีเอชตั้งแต่ 1 ถึง 12 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณโคโคไมท์ 5 กรัมต่อลิตร เขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งความสามารถในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังนี้

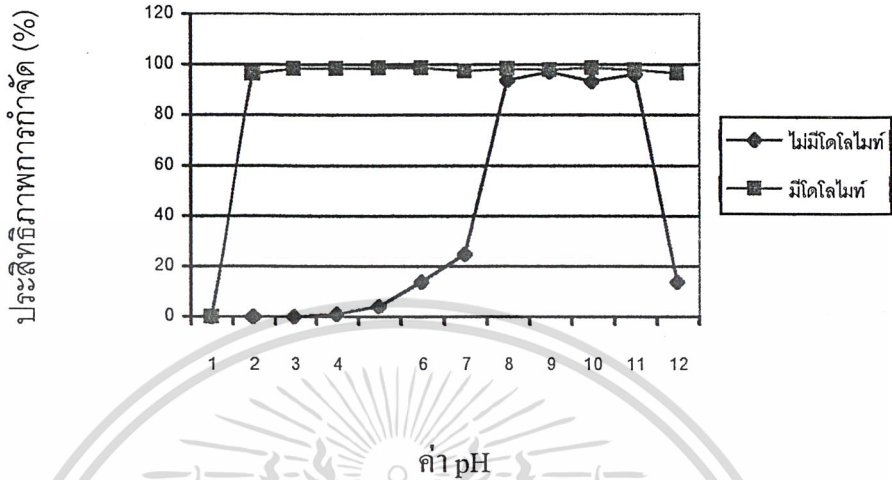
### 4.2.1.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการศึกษาการกำจัดตะกั่ว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดที่ค่าพีเอชต่าง ๆ แสดงดังกราฟรูปที่ 4.1 และตารางที่ ก.1 (ภาคผนวก ก) เมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอช 2 ถึง 12 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือที่ค่าพีเอช 2 ถึง 12 จะให้ผลที่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก นั่นคือประสิทธิภาพการกำจัดไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพีเอชมากกว่า 1

พิจารณาจากผลการทดลองพบว่าที่ค่าพีเอชมากกว่า 1 ปริมาณ  $Pb^{2+}$  จะลดลงและ เปลี่ยนรูปเป็น ตะกั่วคาร์บอเนต ดังสมการต่อไปนี้



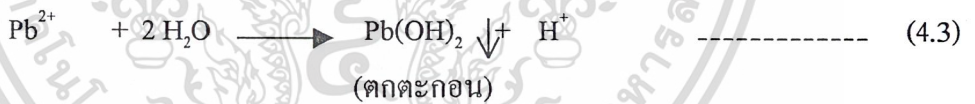
โดยค่า  $K_{sp}$  ของ Lead Carbonate คือ  $3.3 \times 10^{-14}$



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับค่าพีเอชต่างๆ กัน

ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงขึ้นนั้น สามารถพิจารณาจากสมการการละลายน้ำ (Hydrolysis) ของตะกั่ว คือ

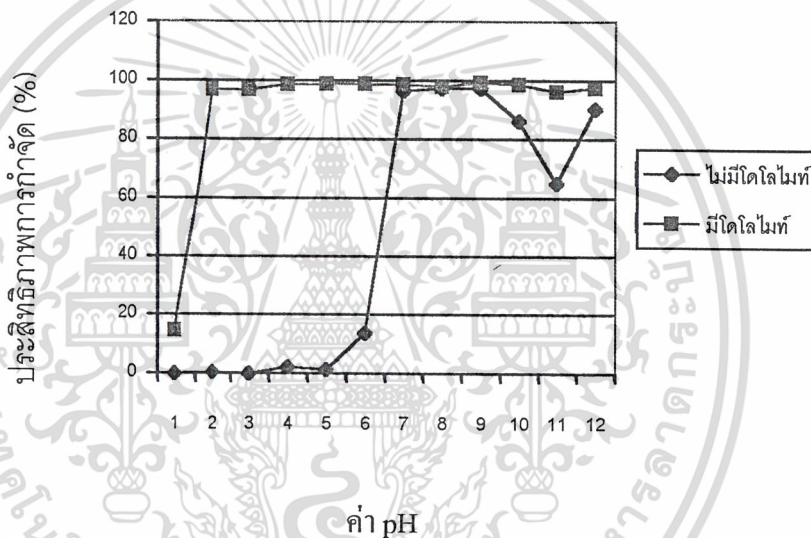


4.2.1.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงโดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชตั้งแต่ 1 ถึง 12 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณโดโลไมท์ 5 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของทองแดง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอช 1 และ 2 ถึง 12 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอช 2 ถึง 12 พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ค่าพีเอช 1 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดเพียงเล็กน้อย แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 2, 3, 4, ถึง 12 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก)

การกำจัดทองแดงพบว่า เมื่อค่าพีเอชเป็นกรด จะอยู่ในรูปซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

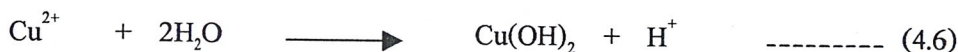


โดยค่า  $K_{sp}$  ของ Copper Carbonate คือ  $1.4 \times 10^{-10}$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงกับค่าพีเอชที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงสูงขึ้นนั้น สามารถพิจารณาจากสมการการละลายน้ำ (Hydrolysis) ของทองแดงดังนี้

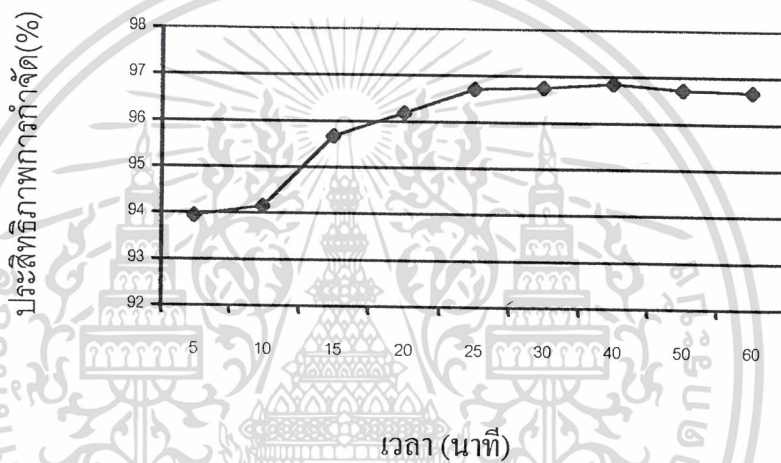


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลการศึกษาผลของเวลาสัมผัสในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์

##### 4.2.2.1 ผลการศึกษาผลของเวลาสัมผัสในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

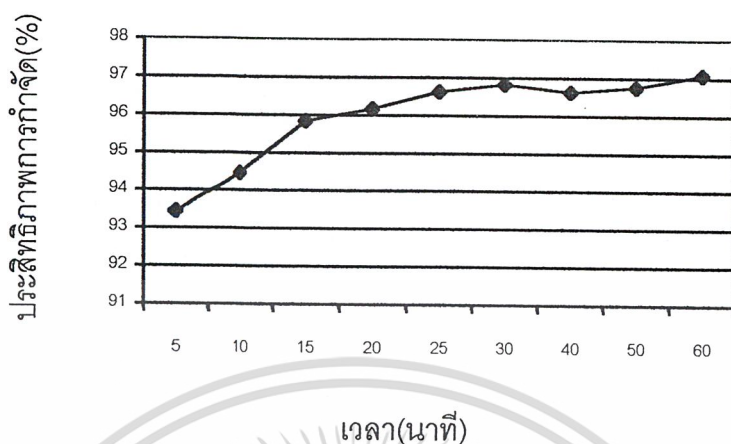
จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณโคโคไมท์เท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร สารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการปรับเปลี่ยนเวลาในการเขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่ที่เวลาต่างๆ กัน ซึ่งความสามารถในการกำจัดจะแตกต่างกัน โดยพบว่าการกำจัดจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 96.75 ดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ ข.1 (ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับเวลา เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

##### 4.2.2.1 ผลการศึกษาผลของเวลาสัมผัสในการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณโคโคไมท์เท่ากับ 5 กรัมต่อลิตร สารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการปรับเปลี่ยนเวลาในการเขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่ที่เวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งความสามารถในการกำจัดจะแตกต่างกัน โดยพบว่าการกำจัดจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 96.82 ดังรูป 4.4 และตาราง ข.2 (ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลการกำจัดทองแดงกับเวลา เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

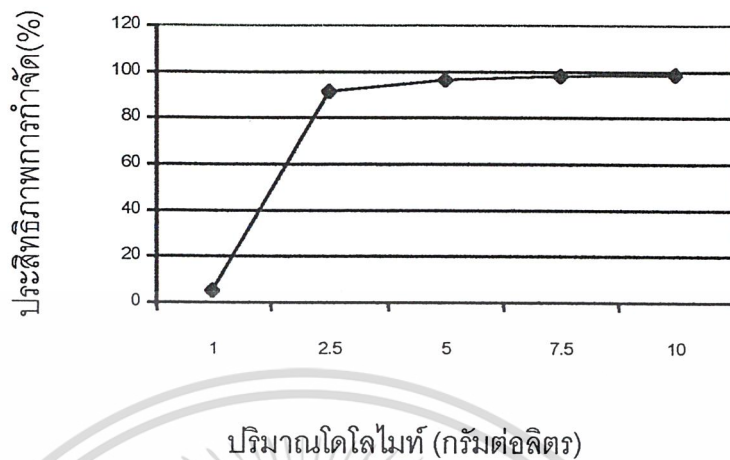
4.2.3 ผลการศึกษาปริมาณโดโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และทองแดง

การศึกษากำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่วและทองแดงโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของโดโลไมท์ เท่ากับ 1.0, 2.5, 5.0, 7.5, และ 10.0 กรัมต่อลิตร สารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังนี้

4.2.3.1 ผลการศึกษาปริมาณโดโลไมท์ ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

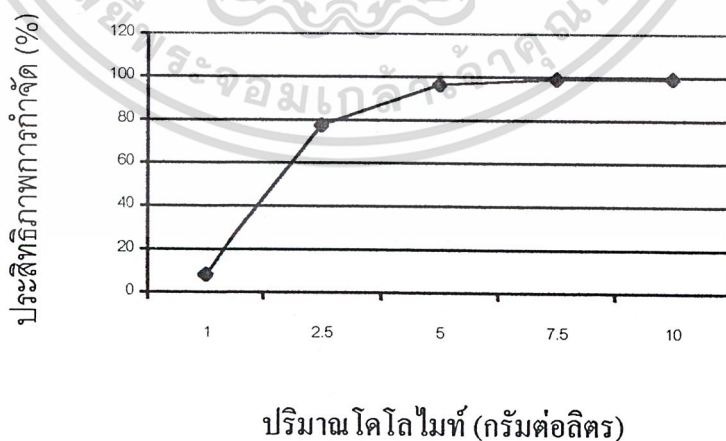
จากการศึกษากำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ปริมาณของโดโลไมท์ เท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร ปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่มีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.5และตารางที่ ค.1 (ภาคผนวก ค) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ปริมาณโดโลไมท์ 7.5 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อใช้ปริมาณโคโลไมท์ที่ต่าง ๆ กัน ในการกำจัดตะกั่ว เพื่อที่จะนำไปใช้ในการทดลองหัวข้อต่อไป

4.2.3.2 ผลการศึกษาปริมาณโคโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงจากการศึกษาการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ปริมาณโคโลไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร ปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสารมีพิษกรมโรงงานอุตสาหกรรมคือ ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.6 และตารางที่ ค.2 (ภาคผนวก ค) ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงเลือกอัตราส่วนโคโลไมท์เท่ากับ 5.0 กรัมต่อลิตร ในการนำไปใช้ในการศึกษาในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อใช้ปริมาณโคโลไมท์ที่ต่าง ๆ กัน

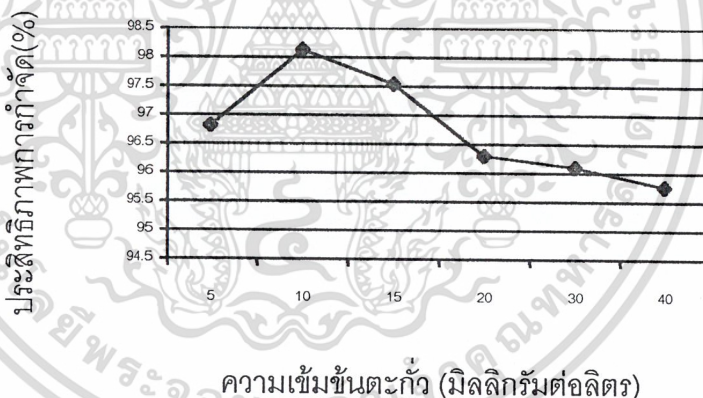
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก ต่าง ๆ กัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพ การกำจัดโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่วและทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กัน คือ 5, 10, 15, 20 , 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการสัมผัส 30 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วต่าง ๆ กัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กัน โดยใช้ปริมาณโคโคไมท์ 7.5 กรัมต่อลิตร สารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการสัมผัส 30 นาที พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.7 และตารางที่ ง.1 (ภาคผนวก ง)

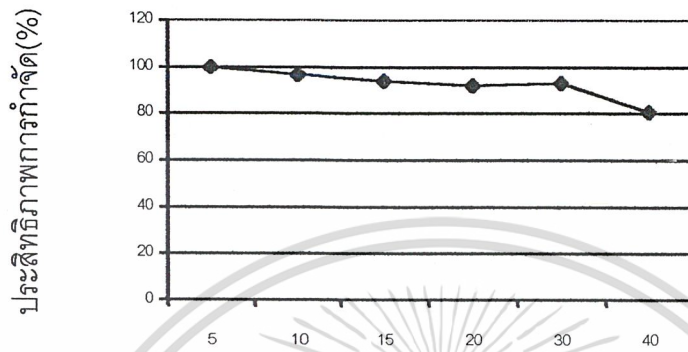


รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อมีความเข้มข้นของตะกั่วต่าง ๆ กัน

4.2.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงต่าง ๆ กัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยใช้ปริมาณโคโคไมท์ 5 กรัมต่อลิตร สารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการสัมผัส 30 นาที พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.8 และ ตารางที่ ง (ภาคผนวก ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความเข้มข้นของทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

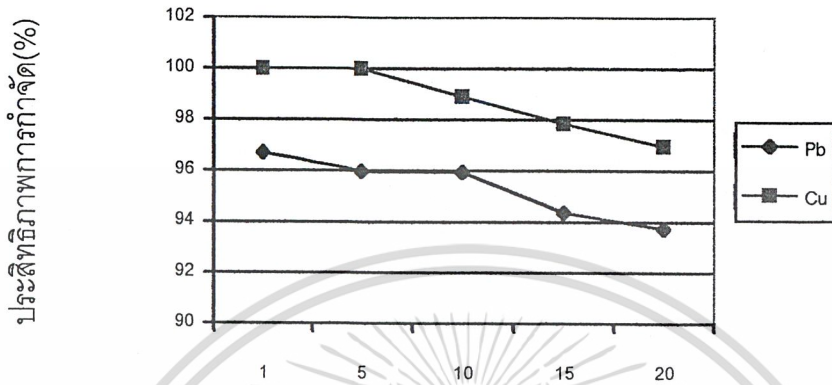
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อมีความเข้มข้นของทองแดงต่าง ๆ กัน

#### 4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด ในสารละลายโดยแบ่งเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว เมื่อมีทองแดงรวมอยู่ด้วยที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อมีตะกั่วรวมอยู่ด้วยที่ความเข้มข้น ตั้งแต่ 1 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อมีความเข้มข้นของทองแดงต่าง ๆ กัน

ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อมีทองแดงรวมอยู่ด้วยที่ความเข้มข้น 1 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ ๓.1 (ภาคผนวก ๓)

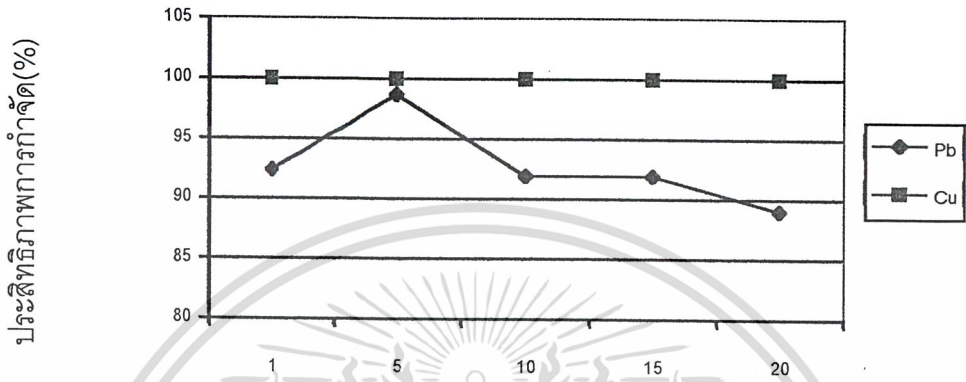


ความเข้มข้นทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)  
เมื่อปริมาณตะกั่วคงที่ ที่ 5 กรัมต่อลิตร

รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว เมื่อมีความเข้มข้นของทองแดงต่าง ๆ กัน

4.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อมีความเข้มข้นของตะกั่วต่าง ๆ กัน

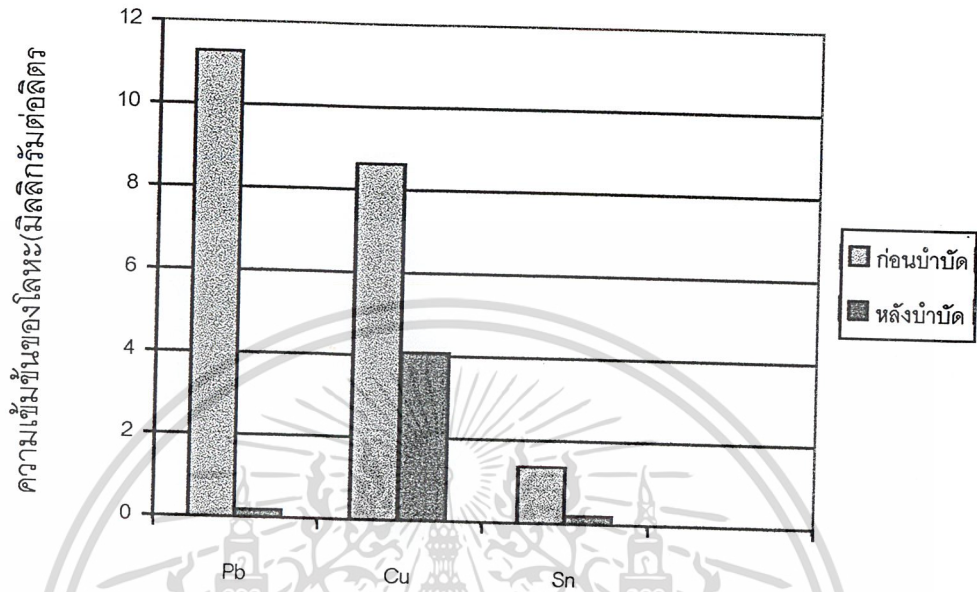
ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อมีตะกั่วรวมอยู่ด้วยที่ความเข้มข้น 0 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มคงที่เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ ๓.2 (ภาคผนวก ๓) กล่าวคือ ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 100 %



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเมื่อมีความเข้มข้นของตะกั่วต่าง ๆ กัน

#### 4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักด้วยโคโลไมท์ ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

จากการศึกษาการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ระยะเวลาการเขย่า 30 นาที ค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 2 และปริมาณโคโลไมท์ 7.5 กรัมต่อลิตร แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักของน้ำเสียตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัด ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับร้อยละ 98.29 และประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงเท่ากับร้อยละ 51.86 ผลการที่ได้แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจริงลดลงพอสมควร เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีสารเคมีอื่น ๆ และโลหะหนักชนิดอื่นปนอยู่ เช่น ดีบุก เป็นต้น ซึ่งทำให้โคโลไมท์ไปกำจัดโลหะหนักหรือสารเคมีที่อาจมีปนอยู่ในน้ำเสีย ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักที่เราสนใจมีค่าน้อยลง



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาศึกษาการกำจัดตะกั่ว และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้โคโลไมท์ เมื่อทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ คือ ผลของค่าพีเอช ระยะเวลาสัมผัส ปริมาณโคโลไมท์ที่เหมาะสม ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก และประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักเมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด สามารถสรุปได้ดังนี้

##### 5.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก

การกำจัดตะกั่ว และทองแดง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพที่ดีในช่วงพีเอช 2-11 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงมากกว่า ร้อยละ 96 ตามลำดับ

ทั้งนี้ที่พีเอชเท่ากับ 2 จะเป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.80-2.20 การปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 2 จึงสามารถทำได้ง่ายและประหยัดสารเคมีในการทดลอง

##### 5.1.2 การศึกษาเวลาในการสัมผัส

ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่ว และ ทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30 นาที เท่ากับร้อยละ 96.75 และ 96.82 ตามลำดับ

##### 5.1.3 การศึกษาปริมาณ โคโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก

ปริมาณ โคโลไมท์ที่เหมาะสมในการกำจัด ตะกั่ว และทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร และ 5 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับร้อยละ 98.3 และประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงร้อยละ 96.45

##### 5.1.4 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว และ ทองแดงที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด

ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว และ ทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน พบว่า ผลการทดลองที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ ที่แต่ละความเข้มข้นมีประสิทธิภาพการกำจัดไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วและทองแดงเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดลดลง เฉพาะ ฉะนั้นในกรณีที่มีน้ำทิ้งจากโรงงานมีปริมาณตะกั่วและทองแดงมากขึ้นตั้งประสิทธิภาพในการกำจัดจึงลดลงเช่นกัน ดังนั้นควรมีการเพิ่มปริมาณ โคลโลไมท์ที่ใช้ในการกำจัด โลหะหนักมากขึ้น

5.1.5 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิดรวมกัน

ณ ความเข้มข้นของตะกั่วคงที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นเป็น 1, 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและทองแดงจะลดลง และที่ความเข้มข้นของทองแดงคงที่ที่ 5 กรัมต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้นเป็น 1, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงยังคงเหมือนเดิมเท่ากับ ร้อยละ 100 แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วลดลง

5.1.6 การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

จากการทดสอบนำโคลโลไมท์มาใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดลดลงจากประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียจริงมีทั้งแคดไอออนและแอนไอออนชนิดอื่น ซึ่งเป็นตัวรบกวนในการกำจัด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นๆ เช่น นิกเกิล โครเมียม และสารอินทรีย์อื่นนอกเหนือจากงานวิจัยนี้
- กากตะกอนที่ได้จากการกำจัดโลหะหนัก ควรนำไปกำจัดโดยกระบวนการ Solidification หรือ Fixation เพื่อไม่ให้เกิดการละลายกลับออกมาสู่สิ่งแวดล้อม
- เพื่อให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีขึ้น อาจใช้ปริมาณ โคลโลไมท์ที่มากกว่าผลจากการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

1. เชาวลิตรี ทองประดับ. “โดโลไมท์ของจังหวัดเพชรบูรณ์สำหรับใช้ในทางเกษตรกรรม.”  
ฝ่ายทรัพยากรธรณี สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบูรณ์ 2542
2. สัญญา สราภิรมย์. “โดโลไมท์.” ข่าวสารการธรณี. 24,1, 2522; 27-37
3. Dziuden A.M. and Kowal A.L., “Water treatment by coagulation-adsorption with dolomite.”  
Proceedings of an International Conference. (1983): 205
4. Kronor. “Separation of heavy metal from waste water of the titanium dioxide industry.” U.S.  
Pat. 5,282,977 Feb. 1 1994.
5. Laurent A.Fenouil and Scott Lynn ., “Study of Calcium-Based Sorbents for High-  
Temperature H<sub>2</sub>S Removal.” Ind.Eng.Chem.Res. 34(1995); 2343-2348
6. Patrik Yrjas, K., Cornelis A.P. Zevenhoven. and Mikko M. Hupa., “Hydrogen Sulfide  
Capture by Limestone and Dolomite at Elevated Pressure.”Ind.Eng.Chem.(1996);  
176-183
7. Cornelis A. P. Zevenhoven, K. Patrik Yrijas and Mikko M. “Hydrogen Sulfide Capture by  
Limestone and dolomite at Elevated Pressure.” Ind. Eng.Chem.Res. 35 (1996):3637-  
3643
8. Pekka A. Simill, Elisa K. Hirvensalo and Visa T. Smolander. “Stream Reforming of  
Gasification Gas Tar over Dolomite with Benzene as a Model Compound.” Ind. Eng.  
Chem. Res. 38(1999): 1250-1257
9. Hamidi A. Aziz and Paul G. Smith. “Removal of Manganese from Water using crushed  
Dolomite filtration Technique.” Wat. Res. 30. 2(1996): 489-492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนค่าพีเอชต่าง ๆ กัน

ตารางที่ ก.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กัน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่า pH	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1	10.000	10.000	10.000	10.000	0.000	0.00
2	10.000	10.000	10.000	10.000	0.000	0.00
3	10.000	10.000	10.000	10.000	0.000	0.00
4	10.000	9.717	9.953	9.890	0.120	1.10
5	9.461	9.785	9.539	9.600	0.140	4.00
6	8.496	8.642	8.760	8.630	0.110	13.70
7	7.720	7.430	7.373	7.510	0.150	24.90
8	0.530	0.690	0.570	0.600	0.070	94.00
9	0.265	0.305	0.237	0.270	0.030	97.30
10	0.650	0.803	0.531	0.660	0.110	93.40
11	0.408	0.377	0.348	0.380	0.020	96.20
12	8.670	8.520	8.697	8.630	0.080	13.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กันโดยเติม โคลโลไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่า pH	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1	10.000	10.000	10.000	10.000	0.000	0.00
2	0.317	0.379	0.353	0.35	0.025	96.50
3	0.152	0.134	0.183	0.156	0.02	98.44
4	0.169	0.148	0.124	0.147	0.18	98.53
5	0.136	0.105	0.128	0.123	0.013	98.77
6	0.107	0.124	0.105	0.112	0.008	98.88
7	0.211	0.215	0.304	0.243	0.043	97.57
8	0.117	0.154	0.135	0.145	0.008	98.55
9	0.206	0.18	0.221	0.202	0.017	97.98
10	0.131	0.105	0.124	0.12	0.011	98.80
11	0.218	0.226	0.193	0.212	0.014	97.88
12	0.325	0.295	0.309	0.31	0.012	96.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กัน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่า pH	ปริมาณทองแดงที่เหลือ(มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1	10.000	10.000	10.000	10.000	0.000	0.00
2	10.000	9.850	10.000	9.950	0.070	0.50
3	10.000	10.000	10.000	10.000	0.000	0.00
4	9.694	9.717	9.953	9.788	0.120	2.12
5	9.946	9.785	9.863	9.865	0.060	1.35
6	8.720	8.642	8.485	8.616	0.100	13.84
7	0.350	0.330	0.385	0.355	0.020	96.45
8	0.265	0.259	0.257	0.260	0.003	97.40
9	0.853	0.898	0.846	0.866	0.020	91.34
10	1.372	1.365	1.381	1.373	0.006	86.27
11	3.260	3.770	3.480	3.503	0.210	64.97
12	0.983	0.964	0.967	0.971	0.008	90.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงเมื่อค่าพีเอช ต่าง ๆ กันโดยเติมโคโคไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงมีค่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่า pH	ปริมาณทองแดงที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1	10.000	8.047	7.559	8.536	1.055	14.64
2	0.317	0.319	0.325	0.32	3.399	96.80
3	0.152	0.134	0.146	0.144	0.007	98.56
4	0.169	0.098	0.103	0.123	0.032	98.77
5	0.136	0.105	0.129	0.123	0.013	98.77
6	0.107	0.164	0.148	0.14	0.024	98.60
7	0.197	0.196	0.194	0.196	0.001	98.04
8	0.075	0.078	0.073	0.075	0.002	99.25
9	0.062	0.180	0.126	0.126	0.049	98.74
10	0.131	0.135	0.135	0.135	0.003	98.65
11	0.402	0.374	0.384	0.384	0.013	96.16
12	0.246	0.265	0.256	0.256	0.008	97.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ปริมาณ โลหะหนักที่เหลือ ในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการเขย่า

ตารางที่ ข.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาการเขย่าต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาณ โคลโลไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาที)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อกรัม)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
5	0.580	0.624	0.611	0.605	0.018	93.95
10	0.598	0.573	0.582	0.584	0.010	94.16
15	0.422	0.441	0.432	0.432	0.008	95.68
20	0.387	0.365	0.381	0.381	0.011	96.19
25	0.328	0.334	0.328	0.328	0.004	96.72
30	0.313	0.333	0.328	0.325	0.008	96.75
40	0.331	0.301	0.315	0.315	0.012	96.85
50	0.327	0.319	0.327	0.327	0.007	96.73
60	0.320	0.326	0.331	0.331	0.012	96.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เวลาการเขย่าต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นทองแดงเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาณโคโโลไมท์ 5.0 กรัมต่อลิตร

เวลา(นาที)	ปริมาณทองแดงที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
5	0.638	0.701	0.628	0.656	0.032	93.44
10	0.552	0.547	0.563	0.554	0.007	94.46
15	0.410	0.441	0.398	0.416	0.018	95.84
20	0.392	0.388	0.372	0.384	0.009	96.16
25	0.319	0.32	0.332	0.337	0.025	96.63
30	0.32	0.311	0.324	0.318	0.005	96.82
40	0.325	0.341	0.335	0.337	0.007	96.63
50	0.317	0.328	0.326	0.324	0.005	96.76
60	0.258	0.311	0.308	0.292	0.024	97.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปริมาณโคโคไมท์ต่าง ๆ กัน

ตารางที่ ค.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อปริมาณโคโคไมท์ต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณโคโคไมท์	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1.0	9.561	9.371	9.442	9.458	0.078	5.42
2.5	0.853	0.821	0.832	0.835	0.013	91.65
5.0	0.325	0.342	0.344	0.337	0.008	96.65
7.5	0.183	0.166	0.162	0.170	0.009	98.30
10.0	0.128	0.134	0.136	0.133	0.003	98.67

ตารางที่ ค.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อปริมาณโคโคไมท์ต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นทองแดงเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณโคโคไมท์	ปริมาณทองแดงที่เหลือ(มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1.0	9.203	9.12	9.169	9.169	0.035	8.17
2.5	2.133	2.212	2.198	2.198	0.048	77.52
5.0	0.35	0.368	0.355	0.355	0.01	96.45
7.5	0.087	0.073	0.079	0.079	0.006	99.21
10.0	0.068	0.067	0.064	0.064	0.004	99.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก

ตารางที่ ง.1 แสดงปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณโคโโลไมท์เท่ากับ 5.0 กรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้น ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
5.0	0.166	0.160	0.151	0.159	0.006	96.82
10.0	0.182	0.188	0.192	0.187	0.004	98.13
15.0	0.35	0.372	0.380	0.367	0.013	37.55
20.0	0.736	0.739	0.742	0.739	0.002	96.31
30.0	1.143	1.202	1.132	1.169	0.025	96.10
40.0	1.672	1.721	1.689	1.694	0.020	95.77

ตารางที่ ง.2 แสดงปริมาณทองแดงที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณโคโโลไมท์เท่ากับ 5.0 กรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นเริ่มต้น ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณทองแดงที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
5.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00
10.0	0.326	0.332	0.334	0.331	0.003	96.69
15.0	0.916	0.927	0.951	0.931	0.015	93.79
20.0	1.602	1.587	1.621	1.603	0.014	91.99
30.0	2.080	2.102	2.210	2.131	0.057	92.90
40.0	7.875	7.812	7.688	7.792	0.078	80.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด

ตารางที่ ฉ.1 แสดงปริมาณตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณ โคโค ไมท์เท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร

อัตราส่วน Pb:Cu	ปริมาณตะกั่วที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1 5:1	0.160	0.168	0.152	0.164	0.004	96.72
2 5:5	0.188	0.172	0.178	0.201	0.100	95.98
3 5:10	0.196	0.202	0.212	0.203	0.007	95.94
4 5:15	0.289	0.272	0.283	0.281	0.007	94.38
5 5:20	0.301	0.310	0.328	0.313	0.011	93.74
6 1:5	0.07	0.060	0.100	0.076	0.017	92.40
7 10:5	0.128	0.132	0.129	0.13	0.002	98.70
8 15:5	1.200	1.232	1.198	1.21	0.016	91.93
9 20:5	2.18	2.16	2.221	2.187	0.025	89.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.๒ แสดงปริมาณทองแดงที่เหลือในน้ำเสียดังเคราะห์เมื่อมีโลหะหนัก 2 ชนิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ที่ปริมาณ โคโลไมท์เท่ากับ 7.5 กรัมต่อลิตร

อัตราส่วน Pb:Cu	ปริมาณทองแดงที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด(%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD	
1 5:1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00
2 5:5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00
3 5:10	0.103	0.103	0.112	0.108	0.004	98.92
4 5:15	0.316	0.326	0.324	0.322	0.004	97.85
5 5:20	0.637	0.628	0.610	0.625	0.011	96.95
6 1:5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00
7 10:5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00
8 15:5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00
9 20:5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ปริมาณโลหะหนักที่เหลือในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เมื่อผ่านการกำจัด โดยโคโลไมท์

ตารางที่ ข.1 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

น้ำทิ้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โทรนิคส์	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	ตะกั่ว		ทองแดง		ดีบุก	
	ก่อนเติม	หลังเติม	ก่อนเติม	หลังเติม	ก่อนเติม	หลังเติม
ครั้งที่ 1	11.250	0.210	8.580	4.080	1.208	0.131
ครั้งที่ 2	11.210	0.190	8.890	4.270	1.598	0.232
ครั้งที่ 3	11.370	0.180	8.390	4.110	1.318	0.228
เฉลี่ย	11.280	0.193	8.620	4.150	1.375	0.197
SD	0.068	0.012	0.083	0.083	0.164	0.047
ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		98.29		51.86		85.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539)

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) วันที่ 3 มกราคม  
2539

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและ  
นิคมอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
ค่าที่ดื้อเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solid)	-ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจ แตกต่างกันแต่ประเภทของ แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. -น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำ กร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ ทะเลค่าที่ดื้อเอสในน้ำทิ้งจะมีค่า มากกว่าค่าที่ดื้อเอสที่มีอยู่ใน แหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103- 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตก ต่างแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่ง รองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมหรือ ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ตามที่คณะกรรมการควบคุม	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre filter Disc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (Temperature)	มลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 150 มก./ล. ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ไม่ได้กำหนด
สีหรือกลิ่น(Color or Odor)	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
ซัลไฟด์(Sulfide as H <sub>2</sub> S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
ไซยาไนด์(Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่ง รองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรมตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 15 มก./ ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยก หาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
สารประกอบฟีนอล(Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4- Aminoantipyrine
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรู พืชหรือสัตว์(Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจ สอบที่กำหนด	Gas Chromatography
ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand:BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่ง รองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ ล.	Azide Modification ที่ อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
ค่าทีเคเอ็น	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจ	Kjeldahl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมควบคุมมลพิษ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	แตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	
ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand :COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
โลหะหนัก(Heavy Metal)		
1.สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption
2.โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Spectrophotometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี
3.โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively
4.ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	Coupled Plasma : ICP
5.แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6.แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7.ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8.นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9.แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10.อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือจำหน่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.เซเลเนียม (Se) 12.ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล. ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Inductively Coupled Plasma : ICP  Atomic Absorption Cold Vapor Technique
-----------------------------------	---	--



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้