

การกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย

REMOVAL OF HEAVY METALS IN WASTEWATER  
TREATMENT SLUDGE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF HEAVY METALS IN WASTSWATER  
TREATMENT SLUDGE



NATTAWIKA LOEKSAMRUAT  
SARUNPORN DATHONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ACADEMIC YEAR 2018  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย

Removal of heavy metals in wastewater treatment  
sludge

ชื่อนักศึกษา

นางสาว ณัฐวิภา ฤกษ์สำรวจ รหัสนักศึกษา 58050474

นางสาว สรลพร ดาทอง รหัสนักศึกษา 58050553

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี



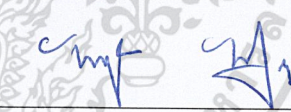
ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.บรรจง บุญชม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร ประธานกรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
รศ.ดร.บรรจง บุญชม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ณัฐวิภา ฤกษ์สำรวจ รหัสนักศึกษา 58050474 นางสาว สรัลพร ดาทอง รหัสนักศึกษา 58050553
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. บรรจง บุญชม

### บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของโครงการพิเศษนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการชะโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียด้วยสารละลายกรดทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก และกรดฟอสฟอริก กากตะกอนที่ใช้ในการวิจัยนี้มาจาก นิคมอุตสาหกรรมปิ่นทอง จ.ชลบุรี กากตะกอนนี้เมื่อแห้งจะมีสีดำปนเทา แข็งแต่ร่วน นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค XRF พบว่ามีโลหะหนักปนเปื้อน คือ แมงกานีส นิกเกิล เหล็ก โครเมียม ทองแดง และสังกะสี โดยในการชะโลหะหนักใช้กระบวนการชะด้วยกรด โดยควบคุมอัตราส่วนกากตะกอนต่อสารละลายกรดที่ใช้คือ 1:20 ที่อุณหภูมิห้อง อัตราเร็ว 450 รอบ/นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำของผสมไปกรองและนำของเหลวไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุโดยการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS) และนำส่วนตะกอนไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF หลังการวิเคราะห์พบว่า กรดทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพในการชะละลายโลหะหนักที่แตกต่างกัน โดยกรดซัลฟิวริก มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการชะละลาย ถัดมาคือ กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดฟอสฟอริก ตามลำดับ

คำสำคัญ : โลหะหนัก กากตะกอน กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย การชะโลหะหนักด้วยกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Removal of heavy metals in wastewater treatment sludge
Students	Miss. Nattawika Loeksamruat Student ID 58050474 Miss. Sarunporn Dathong Student ID 58050553
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2018
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom

### Abstract

The aim of this special project was to study the efficiency of leaching heavy metals in wastewater treatment sludge with 4 type of acid solutions, hydrochloric acid, sulfuric acid, nitric acid and phosphoric acid. Wastewater treatment sludge used in this project was form Pinthong Industial Estate, Chonburi Province. This sluge was solid, black-gray color. To be analyzed with XRF found that heavy metals contaminated, nickel, iron, chromium, copper and zinc. Heavy metal leaching using acid leaching process by controlling the ratio of sludge to acid solution used is 1:20 at 450 rpm for 6 hours and leaving at room temperature for 24 hour. After leaching, the mixture was filteres and the liquid was analyzed by AAS and the sediment was analyzed by XRF after the analysis, it was found that all 4 types of acid solution had different properties for leaching heavy metal. The sulfuric acid has the best efficiency in leaching and hydrochloric acid, nitric acid and phosphoric acid respectively.

**Keywords :** heavy metal , sludge , wastewater treatment sludge , acid leaching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชม อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความเมตตา เสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ตรวจสอบ ดิชมผลงาน และดูแลเอาใจใส่ให้งานสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร และ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไข รวมถึงตรวจสอบ ทำให้ผลงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่อง Atomic Absorption spectroscopy (AAS)

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวก จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆในสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จตลอดจนบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวมา ทางผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐวิภา

ฤกษ์สำรวจ

สร้อยพร

ดาทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป .....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>3</b>
2.1 ภาวะมลพิษของตะกอนบำบัดน้ำเสีย .....	3
2.2 โลหะหนัก .....	4
2.2.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก .....	4
2.3 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก .....	4
2.3.1 โลหะหนักในสิ่งแวดล้อม .....	4
2.3.2 โลหะหนักในแหล่งน้ำ .....	4
2.4 สังกะสี .....	5
2.5 เหล็ก .....	6
2.6 ทองแดง .....	7
2.7 นิกเกิล .....	8
2.8 โครเมียม .....	8
2.9 แมงกานีส .....	9
2.10 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย .....	10
2.10.1 ทางกายภาพ .....	10
2.10.2 ทางเคมี .....	10
2.11 กรดที่ใช้ในการชะโลหะหนัก .....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

2.11.1	กรดไฮโดรคลอริก .....	11
2.11.2	กรดซัลฟูริก .....	11
2.11.3	กรดฟอสโฟริก .....	12
2.11.4	กรดไนตริก .....	12
2.12	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	14
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>16</b>
3.1	อุปกรณ์และสารเคมี .....	16
3.1.1	สารเคมี .....	16
3.1.2	อุปกรณ์ .....	16
3.2	แหล่งที่มาของกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย .....	16
3.3	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอน .....	17
3.4	ทดสอบประสิทธิภาพในการชะโลหะหนักออกจากกากตะกอนโดยใช้สารละลาย ... กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสโฟริก และกรดไนตริก	17
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>18</b>
4.1	ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย .....	18
4.1.1	รูปแบบการสิ้นของพิษจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด .....	18
4.1.2	วิเคราะห์ปริมาณธาตุและสารประกอบ .....	21
4.2	ผลการวิเคราะห์ร้อยละของปริมาณโลหะหนักของตะกอนตัวอย่าง .....	23
4.3	ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำชะละลาย .....	24
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>26</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย .....	26
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	27
	เอกสารอ้างอิง .....	28
	ภาคผนวก .....	29
	ภาคผนวก ก .....	30
	ภาคผนวก ข .....	33
	ภาคผนวก ค .....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

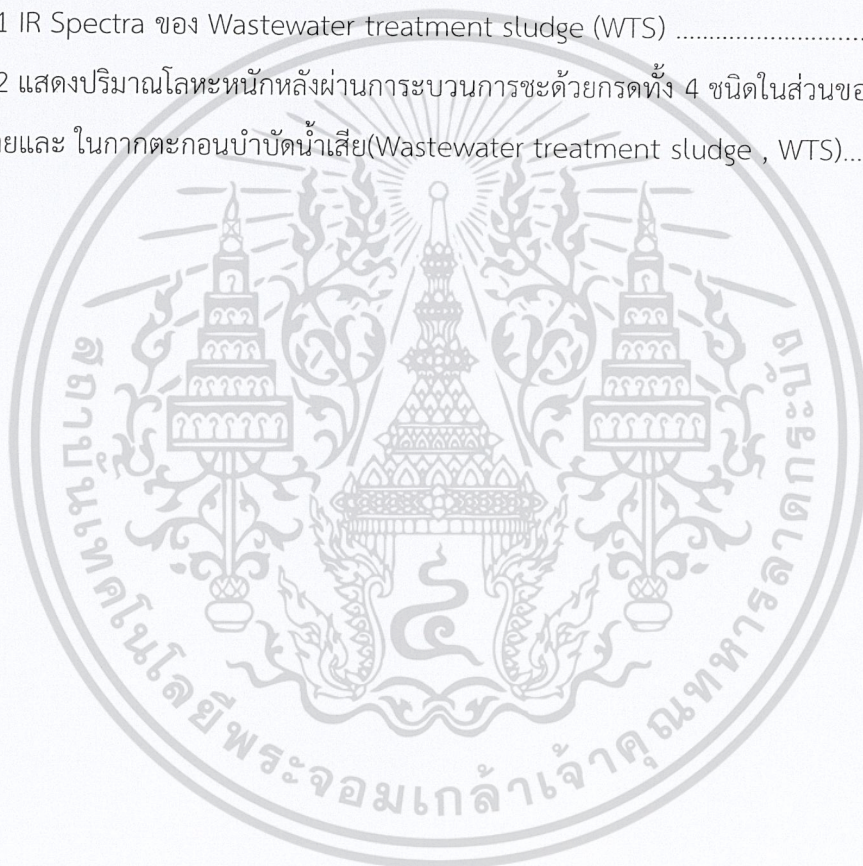
ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 โลหะหนักที่พบใน wastewater treatment sludge .....	10
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนตัวอย่าง $WTS_{raw}$ , $WTS_{H_2SO_4}$ , $WTS_{H_3PO_4}$ , $WTS_{HCl}$ และ $WTS_{HNO_3}$ .....	21
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ร้อยละของปริมาณโลหะหนักของตะกอนตัวอย่าง.....	23
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์จากปริมาณโลหะหนักจากน้ำชะละลาย .....	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม (wastewater treatment sludge)	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะของตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย .....	10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างกรดไฮโดรคลอริก .....	11
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของกรดซัลฟิวริก .....	12
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของกรดฟอสฟอริก .....	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกรดไนตริก .....	13
รูปที่ 4.1 IR Spectra ของ Wastewater treatment sludge (WTS) .....	19
รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณโลหะหนักหลังผ่านการชะล้างด้วยกรดทั้ง 4 ชนิดในส่วนองน้ำ ชะละลายและ ในภาคตะกอนบำบัดน้ำเสีย(Wastewater treatment sludge , WTS).....	25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
XRF	X-ray fluorescence (ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างทำให้แยกได้ว่า ในตัวอย่างที่ทดสอบนั้น มีธาตุอะไรอยู่บ้าง)
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (สามารถบอกหมู่ฟังก์ชันคร่าว ๆ ในสารที่ไม่ทราบว่าเป็นสารอะไรได้)
AAS	Atomic Absorption spectroscopy (วิเคราะห์หาปริมาณโลหะชนิดต่างๆ ที่อยู่ในรูปสารละลาย )
hr	ชั่วโมง
g	กรัม
M	โมลาร์
MW	มวลโมเลกุล
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
min	นาที
W/W	น้ำหนักต่อน้ำหนัก
%	เปอร์เซ็นต์
°C	องศาเซลเซียส
rpm	หน่วยหมุน รอบต่อนาที
WTS	ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย WASTSWATER TREATMENT SLUDGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรซึ่งส่งผลให้แต่ละครัวเรือนมีการใช้น้ำประปาเพิ่มขึ้นทั้งอุปโภคและบริโภค กรมประปาจำเป็นต้องมีการเพิ่มการผลิตน้ำประปาให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรทุกคน ซึ่งในปัจจุบันในหนึ่งวันกรมประปาต้องผลิตน้ำประปาให้ได้หลายร้อยล้านลูกบาศก์เมตรแต่ในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นจะมีกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment sludge) ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก จากการสืบค้นข้อมูลที่นิคมอุตสาหกรรมปิ่นทอง จังหวัดชลบุรี มีการผลิตน้ำประปาเฉลี่ยเดือนละสองล้านลูกบาศก์เมตร (กรมประปาส่วนภูมิภาค สาขาศรีราชา, 2562) ในการผลิตน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย 0.025 – 0.035 กิโลกรัม ดังนั้นในหนึ่งเดือนจะมีกากตะกอนบำบัดน้ำเสียเกิดขึ้น 50 – 70 ตัน ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มากเกินไป ทางกรมประปาจะกำจัดกากตะกอนเหล่านี้ด้วยวิธีการฝังกลบ (Landfill) ซึ่งทำให้การประปาปนครหลวงเสียค่าใช้จ่ายตรงส่วนนี้มากถึงปีละ 10 ล้านบาท (กรมประปาปนครหลวง, 2543) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วกากตะกอนบำบัดน้ำเสียนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆอีกมากมาย แต่ที่เราไม่สามารถนำกากตะกอนเหล่านั้นมาใช้ได้ เพราะว่า มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ส่งผลก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง

กระบวนการกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) การใช้สารดูดซับ (Adsorption) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-Exchange) เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนเป็นจำนวนมาก และต้องใช้งบประมาณที่มีประสิทธิภาพ จึงจะสามารถนำของเสียที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งหวังที่จะศึกษาการกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย โดยการใช้วิธี Acid Leaching Process หรือ กระบวนการชะโลหะหนักด้วยกรดทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) และ กรดฟอสฟอริก (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) ซึ่งมีความสามารถในการชะละลายโลหะได้ดี และ ต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการขังในเพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการชะโลหะออกจากตะกอนน้ำเสียของกรดทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และ กรดไนตริก
3. เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพของตะกอนประปาหลังการชะโลหะหนัก

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment sludge) จากนิคมอุตสาหกรรมปิ่นทอง จังหวัดชลบุรี โดยจะศึกษาประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักที่เป็นอันตราย และศึกษาความสามารถของกรดที่มีผลต่อการชะล้าง ซึ่งกรดที่ใช้ในการทดลอง คือ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และ กรดไนตริก

2. ชะล้างโลหะหนักออกจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย โดยใช้สารละลายกรดทั้ง 4 ชนิด โดยควบคุมอัตราส่วนตะกอน (กรัม) ต่อ สารละลาย (มิลลิลิตร) อัตราเร็วรอบ/นาที อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองให้คงที่ จากนั้นนำสารละลายไปทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS และนำตะกอนไปอบให้แห้ง แล้วนำไปตรวจด้วยเครื่อง XRF และ FTIR

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการใช้กรดชะโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียได้มากขึ้น
2. เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคนิคในการชะโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการชะโลหะหนักชนิดอื่นๆออกจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

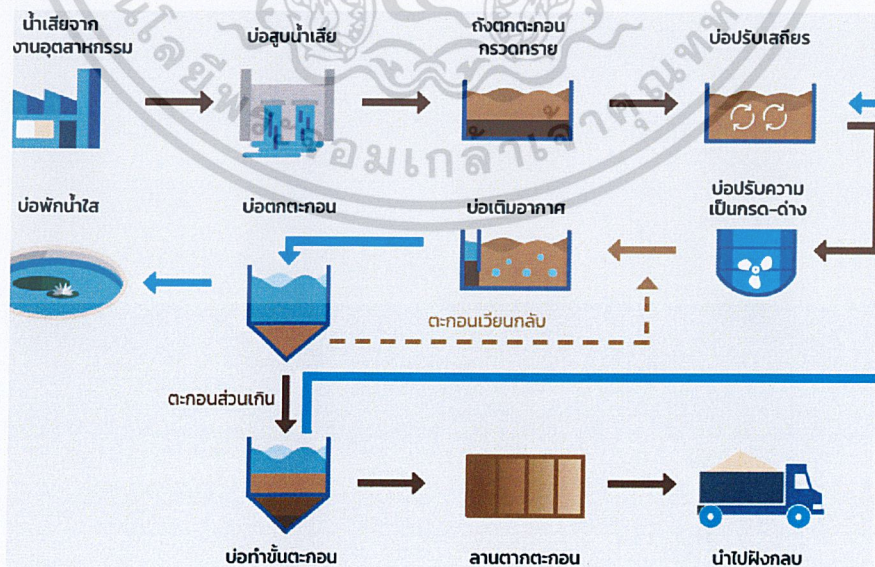
#### 2.1 ภาวะมลพิษของตะกอนบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment sludge)

ระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีกากตะกอนหรือสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมา ด้วยเสมอ เช่น สังกะสี นิกเกิล โครเมียม ฯลฯ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบำบัดสลัดจ์เหล่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของสลัดจ์ นอกจากนี้การลดปริมาณของสลัดจ์โดยการกำจัดน้ำออกจากสลัดจ์ ช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ

##### การกำจัดกากตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge Disposal)

หลังจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น และมีปริมาณลดลง เพื่อความสะดวกในการขนส่งแล้ว ในขั้นต่อมาก็คือ การนำสลัดจ์เหล่านั้นไปกำจัดทิ้ง โดยวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการกำจัดทิ้งที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

- การฝังกลบ (Landfill) : เป็นการนำสลัดจ์มาฝังในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้และกลบด้วยชั้นดินทับอีกชั้นหนึ่ง
- การหมักทำปุ๋ย (Composting) : เป็นการนำสลัดจ์มาหมักต่อเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งเป็นการนำสลัดจ์กลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืช เนื่องจากในสลัดจ์ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่างๆ
- การเผา (Incineration) : เป็นการนำสลัดจ์ที่จวนแห้ง มาเผา เพราะเนื่องจากไม่สามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยหรือฝังกลบได้ (กรมควบคุมมลพิษ,2557)



รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม (wastewater treatment sludge)  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ดูแลเห็นเป็นประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โลหะหนัก

### 2.2.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy Metal) หมายถึง ธาตุที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ 5 เท่า หรือมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ซึ่งมีเลขอะตอมตั้งแต่ 23-92 จำนวนทั้งหมด 72 ธาตุ ในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (ยกเว้นปรอทมีสถานะเป็นของเหลว) สมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดี และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญคือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะอิสระโลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำมีโลหะหนักหลายชนิดที่มนุษย์ได้รับจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วก่อให้เกิดอาการต่างๆของโรคที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยรวม ตั้งแต่มีอาการเล็กน้อยจนถึงอาการรุนแรงรวมทั้งถึงการเสียชีวิตในจำนวนโลหะหนักที่มีมากมายในสิ่งแวดล้อม

## 2.3 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก (พรพรรณ พนาปวุฒิกุล 2549)

### 2.3.1 โลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม พบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ เกิดจากองค์ประกอบของธาตุต่างๆในธรรมชาติ ได้แก่ หิน ดิน ซากพืช ซากสัตว์ และจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การอุตสาหกรรม ประกอบด้วย กระบวนการผลิตโลหะ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล รวมถึงแหล่งเกษตรกรรม ที่มีการใช้สารกำจัดแมลง และเชื้อรา ที่มีองค์ประกอบเป็นซิลิเนียมหรือทองแดง และแหล่งชุมชนที่มีการทิ้งขยะมูลฝอยที่มีถ่านไฟฉาย หรือแบตเตอรี่ที่มีแมงกานีส แคดเมียมและตะกั่ว เป็นองค์ประกอบรวมถึงการปล่อยน้ำเสียทิ้งที่ได้รับการบำบัดและไม่ผ่านการบำบัด ลงสู่แหล่งน้ำ (สมปรารณา มหาผล 2544)

### 2.3.2 โลหะหนักในแหล่งน้ำ

โลหะชนิดต่างๆ เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำสามารถอาศัยอยู่ในตัวกลาง เช่น ดินตะกอน ฟิชน้ำ สัตว์น้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งโลหะหนักที่อยู่ในตัวกลางเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปหรือเคลื่อนย้ายเข้าสู่ ห่วงโซ่อาหารได้ สามารถแยกรายละเอียดได้ดังนี้

1. การสะสมโลหะหนักในแหล่งน้ำ มีทั้งอยู่ในรูปละลายน้ำ และสารแขวนลอย ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักในแหล่งน้ำนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เนื่องจากความสามารถในการผสมผสานของโลหะหนักในรูปสารแขวนลอย และรูปที่ละลายน้ำมีความต่างกัน โดยรูปของสารแขวนลอยคงตัวยาวนานกว่ารูปที่ละลายน้ำ และจากการที่น้ำมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา ทำให้ตะกอนใต้น้ำมีการลอยตัวขึ้น (resuspension)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงมีทั้งกระบวนการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) ของโลหะหนัก ระหว่างน้ำและตะกอนดิน

2. การสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ส่วนหนึ่งเป็นโลหะหนักที่เกิดขึ้นจากการสะสมตัวตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการชะล้างเกลือแร่ หรือโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของแร่ที่มีอยู่บนพื้นดินบริเวณนั้นลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งตามสภาพทางธรณีวิทยาแล้วสามารถละลายออกมาปนกับน้ำได้ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้และการปล่อยโลหะหนักที่สะสมอยู่ในตะกอนดิน มีความเข้มข้นสูงมากกว่าในนามเป็นจำนวนมาก แล้วมีกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้มีการปลดปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ องค์ประกอบของตะกอนดินที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนัก ได้แก่ พวกคาร์บอนเนต และออกไซด์ ของแมงกานีส และเหล็ก ตลอดจนองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ

#### 2.4 สังกะสี

สังกะสี (Zinc) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 30 และสัญลักษณ์คือ Zn สังกะสีอยู่ในตารางธาตุหมู่ 12 ชื่อในภาษาอังกฤษมาจากภาษาเยอรมันว่า Zink เป็นธาตุประเภทโลหะที่มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีพอสมควรกับออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ สังกะสีที่พบในธรรมชาติไม่พบในรูปของธาตุอิสระ โดยทั่วไปมักพบสังกะสีในดินประมาณ 120 กรัม/ตัน โดยอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (ZnS) และมักปนกับซัลไฟด์ของโลหะอื่น เช่น เหล็ก, ตะกั่ว, แคดเมียม และทองแดง

คุณสมบัติทางกายภาพของสังกะสี เป็นโลหะธาตุสีเงิน มันวาว ที่นิยมนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมากมาย สำหรับเป็นโลหะโครงสร้างหรือโลหะผสมกับโลหะอื่นสำหรับประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ มีความแข็ง แต่เปราะง่าย ไม่สามารถดัดโค้งงอตามรูปที่ต้องการได้ เนื่องจากเปราะ และมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับโลหะอื่น เช่น ทอง ที่ดัดโค้งงอได้ดีกว่า นอกจากนั้น สังกะสียังเป็นแร่ธาตุหนึ่งที่สามารถพบได้ในร่างกายมนุษย์ และสัตว์ เนื่องจากจัดเป็นแร่ที่ร่างกายต้องการชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทสำคัญหลายประการต่อร่างกาย ช่วยในกระบวนการสร้างเอนไซม์ ระบบภูมิคุ้มกัน การสร้างสารพันธุกรรม และการซ่อมแซมบาดแผล

#### ประโยชน์

- เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด
- ทำหน้าที่ช่วยส่งเสริมพัฒนาการในเด็ก ช่วยส่งเสริมความจำ และการเรียนรู้
- ช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบสืบพันธุ์
- ช่วยให้เกิดการเจริญพันธุ์ตามวัยที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
- ช่วยกระตุ้นการทำงานของฮอร์โมนเพศ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความเป็นพิษของสังกะสี

ฝุ่นหรือไอของซิงค์ออกไซด์สามารถทำให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ส่วนการสัมผัสทางผิวหนังเป็นเวลานานจะทำให้เกิดผิวหนังอักเสบอย่างรุนแรง เมื่อได้รับฝุ่นหรือไอของสังกะสีในปริมาณมากจากการสูดดมจะเกิดอาการระคายเคือง ไอ หลอดลมอักเสบ ปอดบวม เหนื่อย ล้า อ่อนแรง มีอาการปวดกล้ามเนื้อ คลื่นไส้ มีไข้ มีอาการหนาวสั่น และผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งมักเกิดภายใน 4-12 ชั่วโมง หลังการสัมผัส

## 2.5 เหล็ก

เหล็ก (Iron) เป็นธาตุเคมีในตารางธาตุ มีสัญลักษณ์ธาตุ Fe และหมายเลขอะตอม 26 เหล็กเป็นธาตุโลหะทรานซิชันหมู่ 8 และคาบ 4 เหล็กนั้นมีประโยชน์อย่างมากในปัจจุบันเป็นธาตุที่พบเห็นได้ในทุกวัน โดยเฉพาะในการก่อสร้าง ในโรงงานอุตสาหกรรมอีกทั้งยังเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องใช้ในการสร้างบ้าน อาคาร ต่างๆ เหล็กจึงเป็นธาตุที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนี้แล้วยังใช้ในการทำเป็นวัสดุต่างๆ ทำเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักร และอื่นๆอีกมากมาย ผลิตภัณฑ์เหล็ก โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้หลายหมวดหมู่ เช่น ยานยนต์ การก่อสร้าง ภาชนะบรรจุภัณฑ์และการจัดส่งเครื่องจักรและอุปกรณ์อุตสาหกรรม การขนส่งทางรถไฟ อุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องใช้ในครัว

สมบัติทางกายภาพของเหล็ก ที่สำคัญที่สุดของเหล็กก็คือความสามารถในการขึ้นรูปได้ และความทนทานที่ยืดเยื้อ รวมทั้งยืดหยุ่นได้ดี มีค่าจุดคราก และการนำความร้อนที่ดี ตลอดจนคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในเหล็กกล้าไร้สนิม นั่นคือความทนทานต่อการกัดกร่อน

### ประโยชน์

- เป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดง ซึ่งจะช่วยให้การจับออกซิเจนได้มากขึ้น
- ใช้ในกระบวนการชีวเคมี เช่น กระบวนการย่อยอาหารในระบบการย่อยอาหาร

### ความเป็นพิษของเหล็ก

ทำให้ระคายเคืองและเกิดการกัดกร่อน, อาการแพ้, ไอ, ภาวะหายใจสั้นเร็วแบบรุนแรง อาจทำให้ตาบอด คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ผลต่อ ระบบในร่างกาย เมื่อได้รับในปริมาณมาก ความดันเลือดลดต่ำลง เป็นลม ระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ ชัก ภาวะกดประสาท ระบบทางเดินหายใจเป็นอัมพาต เม็ดเลือดแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ทองแดง

ทองแดง (Copper) คือ ธาตุที่มีเลขอะตอม 29 และสัญลักษณ์คือ Cu ทองแดงอยู่ในตารางธาตุหมู่ 29 ทองแดงเป็นโลหะสีน้ำตาลแดงค่อนข้างอ่อนสามารถตีแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ หรือดึงเป็นเส้นได้ นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีรองจากทองคำและเงิน ทองแดงเป็นโลหะที่พบในแร่ต่างๆ เช่น แร่คาลโคไพไรต์( $\text{CuFeS}_2$ ) คิวไพไรต์( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) มาลาโคต์ ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ) คาลโคไซต์ ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) ส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ในงานด้านไฟฟ้า เช่น ทำสายไฟฟ้า ไดนาโม มอเตอร์ อุปกรณ์ และเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ เนื่องจากทองแดงทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีจึงใช้ทำหม้อน้ำรถยนต์ ผงทองแดงใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ทองแดงยังใช้ทำโลหะผสมต่าง ๆ เช่น ทองเหลือง (ทองแดง+สังกะสี) ทองสัมฤทธิ์ (ทองแดง+ดีบุก) ทองเหลืองใช้ทำกลอนประตู ภาชนะหุงต้ม ปลอกกระสุนปืน กุญแจใบพัด เป็นต้น

### ประโยชน์

- ใช้ผลิตภาชนะ เครื่องเรือน และโลหะในอุตสาหกรรม
- ใช้เป็นส่วนผสมของการผลิตโลหะ
- ใช้ผลิตสายไฟ และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์
- ใช้ผลิตสีย้อมเคมี
- เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์
- ทำหน้าช่วยส่งผ่านออกซิเจนเข้าสู่เซลล์

### ความเป็นพิษของทองแดง

หากร่างกายได้รับทองแดงในปริมาณมาก และเกินความต้องการของร่างกาย ทองแดงจะก่อความเป็นพิษขึ้น ได้แก่ ทำให้เกิดอาการคลื่นเหียนอาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อในช่องท้อง และกล้ามเนื้อ เลือดออกในกระเพาะ เกิดโรคโลหิตจาง หัวใจทำงานผิดปกติ ภูมิคุ้มกันร่างกายเสื่อม และเกิดความผิดปกติทางจิต ถ้าได้รับทองแดงติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้เกิดพิษเรื้อรัง ตับ และไตทำงานผิดปกติ ไม่สามารถขับทองแดงออกได้ จนทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า โรควิลสัน (Wilson' Diseases) โดยผู้ป่วยมีการสะสมทองแดงในระดับมากกว่าปกติ เนื่องจากร่างกายไม่สามารถขับทองแดงออกทางท่อน้ำดีเข้าสู่ลำไส้ได้ และเมื่อตับมีทองแดงอึดตัว ทองแดงจะแทรกซึมเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้ทองแดงไปพอกอยู่ตามอวัยวะต่างๆ ที่สำคัญ เช่น สมอง กระดูกตา และไต ซึ่งทำให้อวัยวะเหล่านี้พิการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 นิกเกิล

นิกเกิล (Nickel) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 28 และสัญลักษณ์คือ Ni อยู่ในตารางธาตุหมู่ที่ 28 นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความมันวาวสีขาวเงิน อยู่กลุ่มเดียวกับเหล็ก มีความแข็งแต่ตีเป็นแผ่นได้ รวมถึงใช้ประโยชน์ในด้านเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ในอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่านิกเกิลจะอยู่คาบเดียวกันกับ Fe และ Co (ตามหลัง Fe และ Co) ซึ่งอาจคาดว่ามี activity ต่อร่างกาย แต่กลับปรากฏว่า Ni ไม่มีผลทางสรีระต่อทั้งสัตว์และพืช ใช้ชุบโลหะ ป้องกันการเกิดสนิม และช่วยให้มีผิวแวววาวมากขึ้น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น ใช้เร่งปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในกระบวนการผลิตน้ำมันพืชและใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตโลหะผสมต่างๆ สำหรับใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น ใบพัดเรือ ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ครัวเรือน และการผลิตท่อน้ำ เป็นต้น

### ประโยชน์

- ใช้เป็นส่วนประกอบของโลหะในเครื่องใช้ไฟฟ้า และวงจรรอิเล็กทรอนิกส์
- ใช้ผสมกับโลหะอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และมันวาว

### ความเป็นพิษของนิกเกิล

ความเป็นพิษของนิกเกิลมักเกิดจากฝุ่นนิกเกิล และนิกเกิลคาร์บอนิล ที่เกิดจากกระบวนการทำนิกเกิลบริสุทธิ์ และสารประกอบของนิกเกิลอื่นๆ ซึ่งนิกเกิล และสารประกอบของนิกเกิลสามารถทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ และสัตว์ได้ การสัมผัสกับนิกเกิลโดยตรงทั้งจากฝุ่น และนิกเกิลที่ละลายในน้ำจะทำให้เกิดอาการผื่นคันตามผิวหนัง รวมถึงการสัมผัสกับตาจะทำให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อตา เกิดอาการแสบตา ตาแดง และรุนแรงบวมอักเสบ การสูดดมฝุ่นและไอระเหยของสารประกอบนิกเกิลยังเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมะเร็งปอด และอาการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ

## 2.8 โครเมียม

โครเมียม (Chromium) เป็นธาตุในตารางธาตุซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น Cr มีหมายเลขอะตอมเป็น 24 ที่พบได้ทั่วไปในน้ำ ดินหรือหิน โครเมียม จัดเป็นธาตุโลหะหนัก (Heavy Metal) ที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กิโลกรัม/ลิตร เป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับ 21 ของธาตุที่พบบนโลก มีลักษณะเป็นโลหะเงินสีขาว มันวาว มีความแข็งแรงทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดี สามารถดัด และขึ้นรูปได้ หากมีความบริสุทธิ์สูงจะมีสีขาวออกฟ้าอ่อนถูกนำมาใช้ประโยชน์มากในทางอุตสาหกรรม อาทิ การชุบโลหะ การผลิตสีย้อม และสีอุตสาหกรรมอื่นๆ ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน และทำให้เกิดความไม่ไวกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันวาว เช่นการทำชิ้นส่วนรถยนต์หรือชิ้นส่วนแต่งมอเตอร์ไซด์ ผสมเป็นโลหะผสม เช่น มีดสแตนเลส การเคลือบโลหะ

### ประโยชน์

- ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมเคมี
- ใช้เป็นส่วนผสมของสีฟัน สีทาบ้าน
- ใช้เป็นสาระสำคัญในการชุบเคลือบโลหะ ช่วยให้โลหะมันวาว และป้องกันการเกิดสนิม

### ความเป็นพิษของโครเมียม

ภาวะความเป็นพิษของโครเมียมที่มีต่อร่างกายมนุษย์ ส่วนมากมักเกิดจากการได้รับพิษของโครเมียมบวก ที่ปัจจุบันมีการใช้มากในอุตสาหกรรมจนถึงเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มนุษย์ใช้งาน ทำให้มีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม และมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายมนุษย์มากที่สุด อาการเป็นพิษแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ พิษฉับพลัน และ พิษเรื้อรัง คือ มีอาการอาเจียน ปวดท้องรุนแรง อาการท้องเสีย มีเลือดออกในกระเพาะอาหาร หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดการช็อค และเสียชีวิตได้ โครเมียมบวก 6 ( $Cr^{+6}$ ) ถูกจัดให้เป็นสารที่มีอันตรายมาก ความเป็นพิษรุนแรงกว่าโครเมียมบวก 3 ( $Cr^{+3}$ ) มากกว่าร้อยเท่า หากได้รับเข้าร่างกายเพียงเล็กน้อยจะมีการสะสมทำให้เกิดพิษเรื้อรัง และเกิดมะเร็งในอวัยวะต่างๆตามมา หากได้รับสารโครเมียมบวก 6 ในปริมาณความเข้มข้นมากจะเกิดการกัดกร่อนผิวหนัง อวัยวะระบบทางเดินหายใจเสียหายอย่างฉับพลัน

### 2.9 แมงกานีส

แมงกานีส (Manganese) เป็นธาตุในตารางธาตุซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น Mn มีหมายเลขอะตอมเป็น 25 แมงกานีสเป็นโลหะชนิดหนึ่ง ซึ่งมีสีขาวคล้ายเงิน แข็งและเปราะ พบได้ในธรรมชาติ แต่จะเกิดรวมกับธาตุอื่นๆได้หลายรูป ดังนั้น ถ้าต้องการโลหะแมงกานีสที่เกิดในธรรมชาติที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอยู่ในรูป Oxide และ Carbonate แมงกานีสเป็นสินแร่ซึ่งถลุงเอาโลหะไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเหล็กกล้า ทำสี เป็นตัวฟอกในอุตสาหกรรมแก้ว ใช้ทำน้ำยาเคมีภัณฑ์ นอกจากนี้ยังใช้ในการทำปุ๋ย และเวชภัณฑ์ต่างๆ

### ประโยชน์

- ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย หรือระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ
- ใช้ทำโลหะผสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโลหะ
- ใช้ผลิตแท่งเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
- ใช้ผลิตถ่านไฟฉาย และแบตเตอรี่

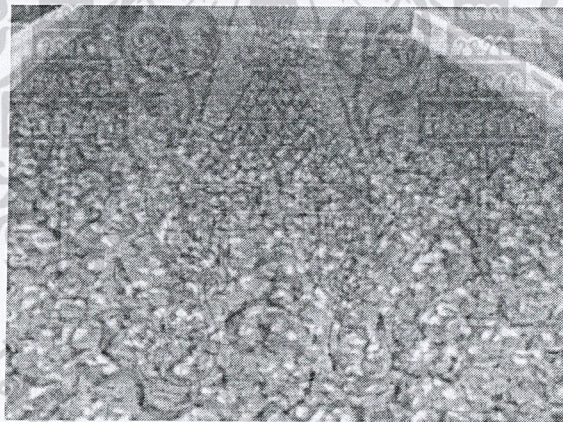
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความเป็นพิษของแมงกานีส

อาจเริ่มด้วยอาการเป็นไข้ปวดศีรษะกล้ามเนื้อไม่มีเรี่ยวแรง เบื่ออาหาร ถึงแม้จะไม่มีอาการเฉียบพลันของพิษจากแมงกานีสให้เห็นได้ชัดแต่พิษสะสมเรื้อรังของมันก็อันตรายร้ายแรงมากทำให้ร่างกายและจิตใจพิการได้แต่ไม่ถึงตาย มีอาการปวดหัว ซึมเซา มีตะคริวที่ขา มีการโต้ตอบทางประสาท (tendon reflex) เพิ่มขึ้น มีอารมณ์แปรปรวน จากการตรวจทางโลหิตวิทยา ผู้ป่วยที่ได้รับพิษจากแมงกานีสจะมีจำนวนเม็ดเลือดแดงมากกว่าปกติ (polycythemia) เล็กน้อย จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิด neutrophil ลดลง

### 2.10 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย (ดวงกมล,2547)

2.10.1 ทางกายภาพ ลักษณะทั่วไปของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียจะมีลักษณะคล้ายกับตะกอนดินเหนียว เปียกชื้นเมื่อดตากให้แห้งจะมีลักษณะคล้ายกับตะกอนดินนั้นเองอุดมไปด้วยสารอินทรีย์ แต่ขาดสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชก่อนนำไปใช้งานต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการนำไปตากให้แห้งและบดให้มีขนาดเล็ก



รูปที่ 2.2 ลักษณะของตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (ดวงกมลและคณะ,2547)

2.10.2 ทางเคมี เมื่อดูจากองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า มีซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) และอะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ในปริมาณสูงซึ่งมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวัสดุพอลิไซลัน โครงสร้างโดยทั่วไปของตะกอนบำบัดน้ำเสียมีทั้งเป็นผลึกและไม่เป็นผลึก แสดงในรูปที่ 2 โดยมีผลึกของ Quartz, kaolinite และ illite

ตารางที่ 2.1 โลหะหนักที่พบใน wastewater treatment sludge (Yu Chung,2010)

Heavy metals (%)	Fe	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd
Wastewater	57.67	41.83	0.25	0.17	0.05	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 กรดที่ใช้ในการชะละลายโลหะหนัก

### 2.11.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)

สูตรเคมี	: HCl in water (H <sub>2</sub> O)
มวลต่อหนึ่งโมล	: 36.46 g/mol (HCl)
ลักษณะทางกายภาพ	: Clear colorless to light-yellow liquid
ความหนาแน่น	: 1.18 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	: -27.32 °C (247 K) , 38% solution
จุดเดือด	: 110 °C (383 K) , 20.2% solution
ความสามารถละลายได้ ในน้ำ	: Miscible.



รูปที่ 2.3 โครงสร้างกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

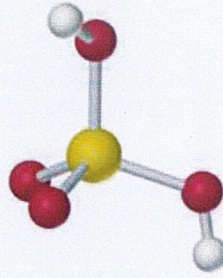
กรดไฮโดรคลอริก โดยทั่วไปจะนิยมใช้กรดนี้ละลายตัวอย่างของแข็ง กรดไฮโดรคลอริกที่เจือจางทั้งร้อนและเย็นสามารถละลายโลหะคาร์บอนेटได้ หากมีการเติมตัวออกซิไดส์บางชนิด เช่น โบรไมต์ จะทำให้ความสามารถในการสลายแร่ออกไซด์ของทองแดง สังกะสี ตะกั่ว ได้ดีขึ้น

### 2.11.2 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

สูตรเคมี	: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
มวลต่อหนึ่งโมล	: 98.08 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	: clear, colorless, odorless liquid
ความหนาแน่น	: 1.84 g/cm <sup>3</sup> , liquid
จุดหลอมเหลว	: 10 °C, 283 K, 50 °F
จุดเดือด	: 290 °C, 563 K, 554 °F

ความสามารถละลายได้ ในน้ำ : miscible

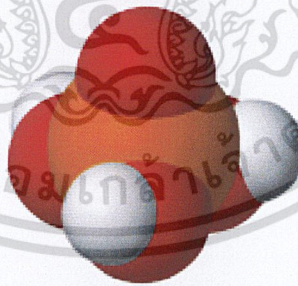
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

### 2.11.3 กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)

สูตรเคมี	: $\text{H}_3\text{PO}_4$
มวลต่อหนึ่งโมล	: 98.00 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	: white solid or colourless, viscous liquid (>42 °C)
ความหนาแน่น	: 1.885 g/mL (liquid) 1.685 g/mL (85 % solution)
จุดหลอมเหลว	: 42.35 °C (anhydrous) 29.32 °C (hemihydrate)
จุดเดือด	: 158 °C (decomp)
ความสามารถละลายได้ ในน้ำ	: 5.48 g/mL



รูปที่ 2.5 โครงสร้างกรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

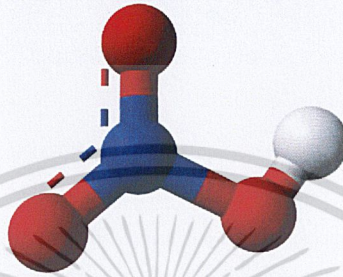
### 2.11.4 กรดไนตริก (Nitric acid)

กรดสูตรเคมี	: $\text{HNO}_3$
มวลต่อหนึ่งโมล	: 63.012 g/mol

ลักษณะทางกายภาพ : Clear, colorless liquid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น	: 1.5129 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	: -42 °C, 231 K, -44 °F
จุดเดือด	: 83 °C, 356 K, 181 °F (bp of pure acid. 68% solution boils at 120.5 °C)
ความสามารถละลายได้ ในน้ำ	: miscibleในตริก



รูปที่ 2.6 โครงสร้างกรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>)

กรดไนตริกที่เข้มข้นและร้อน ใช้ละลายโลหะได้เกือบทุกชนิด ยกเว้น อลูมิเนียม โคโรเนียม ดิบุก ทั้งสแตน กรดไนตริกสามารถละลายแร่ของโลหะต่างๆได้ เช่น โคบอลต์ ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล และ ตะกั่ว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Joseph Hamuyuni (2019)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการไฮโดรเมทัลโลจิคอลสำหรับการกู้คืนทองแดงจากตะกรันที่อุดมไปด้วยทองแดง องค์ประกอบหลักของตะกรันทองแดงนี้คือ cuprite ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), delafossite ( $\text{CuFeO}_2$ ) และทองแดงโลหะ (Cu) การศึกษาศึกษาผลของขนาดอนุภาคอุณหภูมิความเข้มข้นของกรดการกวนและเวลาชะล้างภายใต้สภาวะออกซิไดซ์ ผลการวิจัยพบว่าที่สภาวะที่เหมาะสม ( $40^\circ\text{C}$ ,  $2\text{M H}_2\text{SO}_4$ , เวลาชะล้าง 60 นาที, กำลังผสม  $0.26\text{kW} / \text{m}^3$  และอัตราการไหลของออกซิเจน  $2000\text{mL} / \text{นาที่}$ ), แคลิฟอร์เนีย สกัดทองแดงจากตะกรันลงในสารละลายได้ 100% การวิเคราะห์ X-ray diffraction (XRD) รวมผลการทดลองโดยยืนยันว่าไม่มี Cu ที่มีเฟสอยู่ในสารละลาย ผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ  $\leq 40^\circ\text{C}$  มีอิทธิพลมากกว่าต่อผลผลิต Cu และ Fe ในขณะที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ( $> 40^\circ\text{C}$ ) ชอบการละลายของ Ni และ Zn การใช้กรดของกระบวนการชะละลายที่ดีที่สุด พบว่ามีปริมาณ  $23.7\text{mol}$  ของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ต่อกรัมของทองแดง

จิตติ คำสวัสดิ์ สติยร นิสรวิช และอภิชาติโรจนโรวรรณ (2016)

งานวิจัยชุดนี้ได้แสดงผลการศึกษาการชะละลายโลหะสังกะสี ออกจากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมเรียกกจาโรไซด์ (Jarosite) โดยในการทดลองการชะละลายจากโรไซด์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) พบว่าสามารถชะละลายโลหะสังกะสีออกมาได้มากกว่าร้อยละ 80 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะสังกะสีเดิมที่มีอยู่ในจาโรไซด์

Zinnat A Begum (2012)

เป็นการศึกษาการกำจัดโลหะหนักออกจากดินโดยการล้างด้วย EDDS IDSA MGDA GLDA HIDS ทำการทดลองโดยใช้ดินตัวอย่าง 1 กรัมต่อสารละลาย 10 มิลลิลิตร โดยที่สารละลายมีการปรับ pH 4,7 และ 10 เข้าเครื่องเขย่านาน 1 ชั่วโมงแล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาที 30,000 รอบ ต่อนาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วยวิธี ICP-OES ประสิทธิภาพการกำจัดออกที่ pH 7 โดยใช้ EDDS และ IDSA ล้าง มีดังนี้  $\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb}$  ประสิทธิภาพการกำจัดออกโดยใช้ HIDS ล้าง มีดังนี้  $\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb}$  ซึ่งผู้ทำการทดลองสนใจการล้างด้วย MGDA โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดออกดังนี้ Cd ล้างออกได้ 50 เปอร์เซ็นต์ Cu ล้างออกได้ 38 เปอร์เซ็นต์ Zn ล้างออกได้ 25 เปอร์เซ็นต์ Ni ล้างออกได้ 15 เปอร์เซ็นต์ และ Pb ล้างออกได้ 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ทิตา ดวงสวัสดิ์ (2011)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล ในตัวอย่างน้ำและตะกอนท้องน้ำ ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมทรีสารออกซิไดซ์ที่ใช้ในการย่อยตะกอนท้องน้ำคือ สารผสมที่ประกอบด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น อัตราส่วน 7:3 และ 9:1 โดยปริมาตร ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบค่าปริมาณโลหะหนักกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และค่ามาตรฐานที่ไม่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่กำหนดของโลหะหนักในดินตะกอนของประเทศแคนาดา พบว่า สังกะสีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน

### Yu Chung Kuan (2010)

ตะกอนน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักจัดเป็นขยะอันตรายและจำเป็นต้องได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการปล่อยโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม ในการศึกษาี้กากตะกอนบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแผงวงจรพิมพ์ได้รับการบำบัดในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตซ์โดยกรดซัลฟิวริกเพื่อกำจัดโลหะหนักที่มีอยู่ การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเพิ่มขึ้น แต่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณน้ำหนักกากตะกอนที่เหลือ ที่ความเข้มข้นของซัลฟิวริกที่แตกต่างกัน และอัตราส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลว ไอออนโลหะหนักของ  $Fe^{3+}$  และ  $Cr^{3+}$  นั้นถูกกำจัดได้ยากกว่า  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  และ  $Cd^{2+}$  สำหรับอัตราส่วน 5 กรัมต่อลิตรต่อของแข็งสามารถกำจัดโลหะหนักได้มากกว่า 99.9% จากกากตะกอน โดยใช้กรดซัลฟิวริก 0.5 M ใน 2 ชั่วโมง

### Marinos A. Stylianou (2007)

ในบทความนี้ตัวอย่างตะกอนที่เก็บจากโรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลใน Psittalia (เอเธนส์, กรีซ) ได้รับการบำบัดด้วยกรดโดยใช้กรดซัลฟิวริก นอกจากนี้ยังใช้วิธีการสกัดแบบต่อเนื่องเพื่อกำหนดรูปแบบทางเคมีทั้งหมดของ Ni, Cu, Cr, Pb และ Zn ในกากตะกอนน้ำเสีย การผสมที่เหมาะสมนั้นทำได้ด้วยการทดสอบที่หลากหลายโดยการใช้อัตราส่วน 1: 5 ของปริมาณตะกอน (g) ต่อปริมาตรของกรด (mL) ความเข้มข้นของกรดที่ใช้อยู่ในช่วง 10-20% ที่อุณหภูมิแตกต่างกันสอง (25–80 °C) และเวลา 1 ถึง 60 นาที ภาวะที่เหมาะสมที่สุดเกิดขึ้นได้เมื่อตัวอย่างตะกอนอยู่ใน  $H_2SO_4$  (20%) เป็นเวลา 30 นาทีที่ 80 °C เนื่องจากเงื่อนไขการทดลองเหล่านี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักได้สูงสุด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาระยะการกระจายตัวของโลหะในส่วนที่เหลือและการแบ่งโลหะหนักพบว่ามีความแตกต่างกันหลังจากการบำบัดด้วยกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (30%  $H_2SO_4$ ) เกรดวิเคราะห์ จัดจำหน่ายโดยบริษัท เอเซียไนโซเอนติฟิค จำกัด
2. กรดไฮโดรคลอริก (35.4% HCl) เกรดวิเคราะห์ จัดจำหน่ายโดย Loba Chemie Pvt. Ltd. ประเทศอินเดีย
3. กรดฟอสฟอริก (85%  $H_3PO_4$ ) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท SUNWAY CORPORATION สาธารณรัฐเกาหลี
4. กรดไนตริก (68%  $HNO_3$ ) ผลิตโดยบริษัท Huchems Fine Chemical Cop. สาธารณรัฐเกาหลี

##### 3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องบดหยาบ
2. ตะแกรงร่อน 50 mesh
3. ตู้อบสาร
4. ขวดรูปชมพู่ 250 ml.
5. บีกเกอร์ 100 ml.
6. กรวยแก้ว 75 ml.
7. กระดาษกรอง เบอร์ 1
8. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก
9. เครื่อง X-ray fluorescence (XRF)
10. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Spectrum GX, Perkin-Elmer
11. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) Perkin Elmer 100

#### 3.2 แหล่งที่มาของกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย

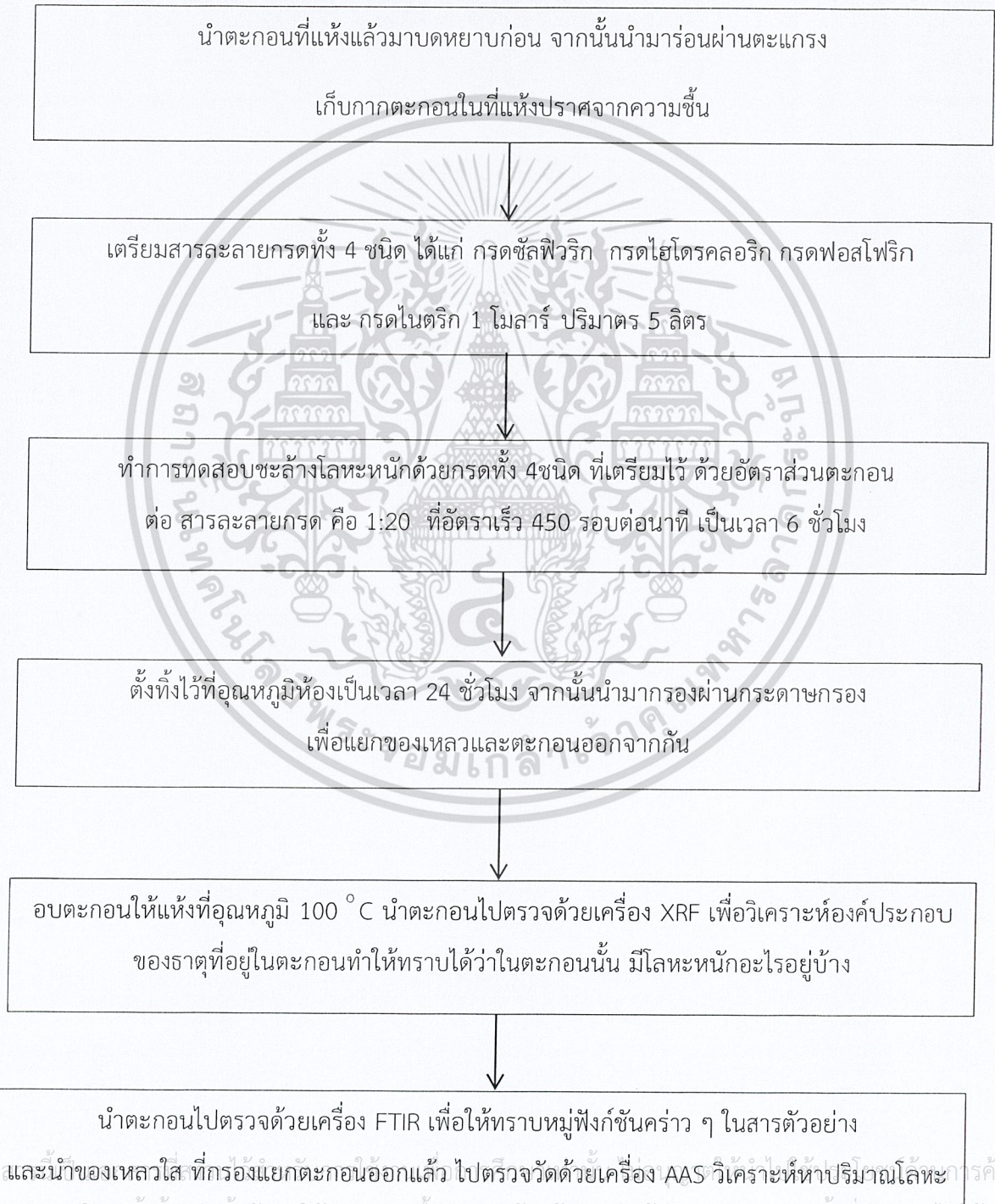
ตะกอนบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมปิ่นทอง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอน

นำกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมาบดละเอียดและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และ XRF จากนั้นเก็บไว้ในที่ปราศจากความชื้น เพื่อนำไปทำการทดลองขั้นต่อไป

### 3.4 ทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักออกจากกากตะกอนโดยใช้สารละลาย กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก และ กรดไนตริก



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการชะโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment sludge) ของสารละลายกรดทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ที่ความเข้มข้น  $1 \text{ mol/dm}^3$  อัตราส่วนกากตะกอนต่อสารละลาย คือ 1:20 ที่อัตราเร็ว 450 rpm เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนครบ 24 ชั่วโมง นำของผสมมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำกากตะกอนและของเหลวใสมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบของกากตะกอนและเปรียบเทียบความสามารถในการชะโลหะหนักของกรดทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี โดยวิเคราะห์ด้วยรูปแบบการสั่นด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) และตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ดังนี้

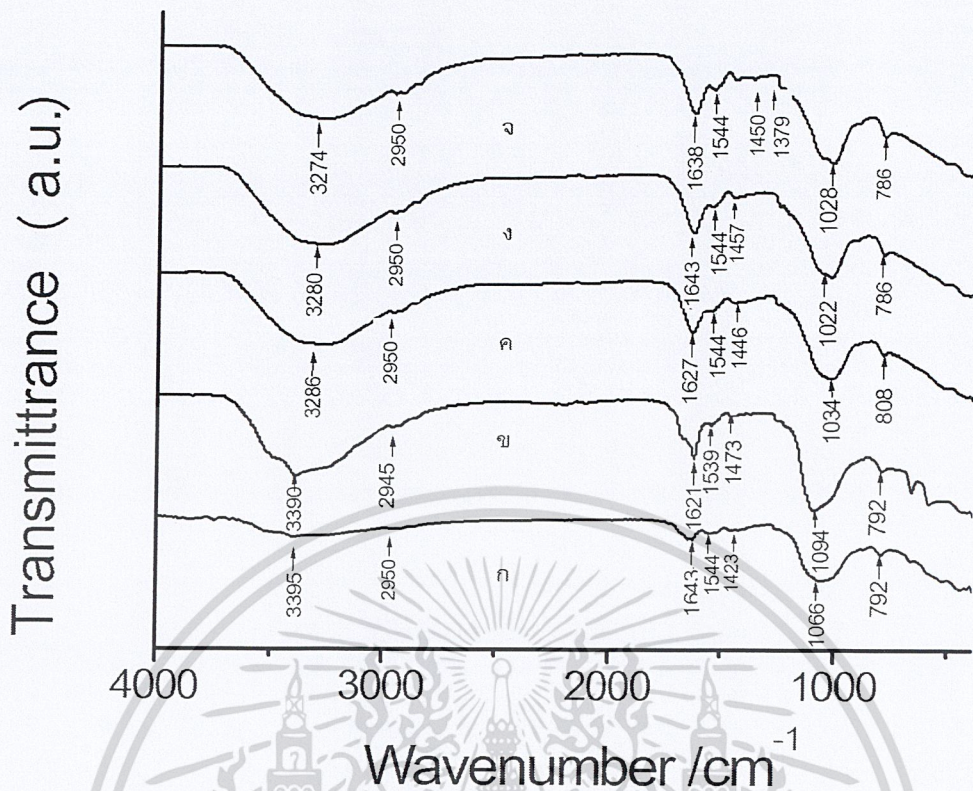
#### 4.1 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย

จากการทดสอบประสิทธิภาพการชะละลายโลหะหนักด้วยสารละลายกรดทั้ง 4 ชนิด จะได้ตะกอนตัวอย่างมา 5 ตัวอย่าง นำตัวอย่างทั้ง 5 มาตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณโลหะหนักเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการชะละลายของกรดทั้ง 4 ชนิด

##### 4.1.1 รูปแบบการสั่นของพันธะจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

ผลการตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 IR Spectra ของ Wastewater treatment sludge(WTS)

จากรูปที่ 4.1 แสดง IR Spectra ของ Wastewater treatment sludge (WTS) โดยกำหนดให้ ก คือ wastewater treatment sludge ที่เป็น raw material ( $WTS_{raw}$ ) ข คือ wastewater treatment sludge ที่ชะด้วย  $H_2SO_4$  ( $WTS_{H_2SO_4}$ ), ค คือ wastewater treatment sludge ที่ชะด้วย  $H_3PO_4$  ( $WTS_{H_3PO_4}$ ), ง คือ wastewater treatment sludge ที่ชะด้วย HCl ( $WTS_{HCl}$ ) และ จ คือ wastewater treatment sludge ที่ชะด้วย  $HNO_3$  ( $WTS_{HNO_3}$ )

จากการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโคปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Vibration spectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) แสดงให้เห็นถึงตะกอนตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง สังเกตจากกราฟ ก ซึ่งเป็น raw material จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน จากลักษณะพีคที่แสดงเอกลักษณ์ เช่น พีคที่  $1066\text{ cm}^{-1}$  ของกราฟ ก เมื่อเทียบกับกราฟอื่นๆ จะเห็นว่ามิลักษณะที่เปลี่ยนไปอย่างชัดเจน ดังกราฟ ข, กราฟ ง และกราฟ จ ลักษณะพีคที่พบส่วนปลายของพีคมีลักษณะเว้าหายไปส่วนหนึ่ง และกราฟ ค ลักษณะพีคที่พบมีขนาดโค้งมนแต่ขนาดเล็กลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกราฟ ก หรือจากพีคที่  $1643\text{ cm}^{-1}$  ของกราฟ ก จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนจากพีคที่ช่วงประมาณ  $1600\text{ cm}^{-1}$  ของกราฟทั้ง 4 มีลักษณะพีคที่ปลายแหลมออกมาชัดเจน และในกราฟ ข นั้นยังสังเกตเห็นลักษณะเว้าแหว่งที่ส่วนปลายของพีคอีกด้วย ดังนั้น จากลักษณะพีคที่แสดงออกมานี้ จึงเข้าใจได้ว่ากรดทั้ง 4 ชนิดนั้นมีผลทำให้ไม่กัดกร่อนต่อสารประกอบที่อยู่ในตะกอนตัวอย่างทั้ง 5 นี้ จึงทำให้มีบางส่วนเว้าหายไปตั้งแต่แสดงออกมาใช้

จากลักษณะพีคที่ปรากฏนี้ อีกทั้งยังพบว่ามีพีคอันเป็นเอกลักษณ์ของ  $\text{SO}_4^{2-}$  โดยพบที่ 1295 และ 1457  $\text{cm}^{-1}$  และยังพบเอกลักษณ์ของ  $\text{SO}_3^{2-}$  โดยพบที่ 583  $\text{cm}^{-1}$  ในกราฟ ข ซึ่งแสดงถึงการตกค้างของกรดซัลเฟตจากกรดซัลฟิวริกไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบในตะกอนตัวอย่างจึงทำให้สารประกอบบางอย่างมีปริมาณเพิ่มขึ้น และแสดงเอกลักษณ์ออกมาให้เห็นอย่างชัดเจน ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์กราฟเพิ่มเติมของตะกอนตัวอย่างทั้ง 5 อย่างละเอียดได้ที่ภาคผนวก

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อหาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อน ทางผู้วิจัยจึงได้นำตะกอนตัวอย่างทั้ง 5 ไปตรวจวิเคราะห์หาธาตุและองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง XRF เพื่อระบุถึงปริมาณที่ชัดเจนต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 วิเคราะห์ปริมาณธาตุและสารประกอบ

ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนตัวอย่าง  $WTS_{raw}$ ,  $WTS_{H_2SO_4}$ ,  $WTS_{H_3PO_4}$ ,  $WTS_{HCl}$  และ  $WTS_{HNO_3}$

ชื่อ องค์ประกอบ ธาตุ	$WTS_{raw}$ (%)	$WTS_{H_2SO_4}$ (%)	$WTS_{H_3PO_4}$ (%)	$WTS_{HCl}$ (%)	$WTS_{HNO_3}$ (%)
MgO	0.84	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.60	-	16.60	11.30	12.20
SiO <sub>2</sub>	13.70	22.5	15.10	37.1	44.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	31.70	9.67	38.00	20.00	19.30
SO <sub>3</sub>	13.20	43.8	7.09	13.60	12.00
K <sub>2</sub> O	0.49	0.34	0.43	4.13	0.58
CaO	19.82	19.57	14.40	0.59	2.61
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.48	0.38	5.04	1.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	-	-	0.92	0.44
MnO	0.23	-	0.20	0.11	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.86	2.86	5.01	6.35	6.41
NiO	0.24	0.08	0.23	0.17	0.16
CuO	0.36	0.27	0.45	0.42	0.47
ZnO	1.59	0.11	2.04	0.24	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าสารประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภทออกไซด์ พบมากที่สุดคือ  $P_2O_5$ ,  $SiO_2$  และ  $Al_2O_3$  ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบมากในปุ๋ย แต่จากตารางก็จะพบว่ามีสารประกอบที่มีโลหะหนักซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมปนเปื้อนอยู่ด้วย ซึ่งในที่นี่มีถึง 6 ชนิด คือ  $Cr_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $NiO$ ,  $CuO$  และ  $ZnO$  ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ หากมีในปริมาณที่มากเกินไปมาตรฐานจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นได้ หากจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นจำเป็นต้องกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนออกไปให้อยู่ในค่ามาตรฐานก่อน จึงจะนำไปใช้งานได้

อย่างไรก็ตาม จากผลการตรวจวิเคราะห์ FT-IR ทำให้ทราบเบื้องต้นแล้วว่า สารละลายกรดทั้ง 4 ชนิดนี้ สามารถทำลายพันธะและทำปฏิกิริยากับสารประกอบเหล่านี้ได้ แต่หากพิจารณาจากแนวโน้มปริมาณของสารประกอบที่เหลือโดยเทียบกับ  $WTS_{raw}$  แล้ว จะพบว่าได้ว่า สารละลายกรดที่ชะ  $Cr_2O_3$  ได้ดีที่สุด คือ  $H_2SO_4 > H_3PO_4 > HCl > HNO_3$  ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ  $MnO$  ได้ดีที่สุด คือ  $H_2SO_4 > HCl > HNO_3 > H_3PO_4$  ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ  $Fe_2O_3$  ได้ดีที่สุด คือ  $H_2SO_4 > H_3PO_4 > HCl > HNO_3$  ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ  $NiO$  ได้ดีที่สุด คือ  $H_2SO_4 > HNO_3 > HCl > H_3PO_4$  ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ  $CuO$  ได้ดีที่สุด คือ  $H_2SO_4 > HCl > H_3PO_4 > HNO_3$  ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ  $ZnO$  ได้ดีที่สุด คือ  $H_2SO_4 > HNO_3 > HCl > H_3PO_4$  ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม จะสังเกตเห็นว่าร้อยละองค์ประกอบของธาตุบางตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับ  $WTS_{raw}$  ดังเช่น  $SO_3^{2-}$  13.20 เป็น 43.8 ในสงนของ  $WTS_{H_2SO_4}$  ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า  $H_2SO_4$  ได้ทำปฏิกิริยากับสารประกอบในตะกอนตัวอย่าง ส่งผลให้  $SO_3^{2-}$  มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) ที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงถึงร้อยละปริมาณของโลหะหนักจะสังเกตได้ว่าไปในทิศทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ร้อยละของปริมาณโลหะหนักของตะกอนตัวอย่าง

$WTS_{raw}$ ,  $WTS_{H_2SO_4}$ ,  $WTS_{H_3PO_4}$ ,  $WTS_{HCl}$ ,  $WTS_{HNO_3}$

โลหะหนักใน ตะกอน ตัวอย่าง	$WTS_{HNO_3}$ (%)	$WTS_{H_3PO_4}$ (%)	$WTS_{HCl}$ (%)	$WTS_{H_2SO_4}$ (%)
Zn	0.166	1.64	0.190	0.091
Ni	0.13	0.182	0.14	0.064
Cu	0.377	0.364	0.334	0.214
Mn	0.097	0.16	0.085	-
Fe	0.166	3.51	4.44	2.00
Cr	0.30	2.086	-	-

จากตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละโลหะหนักหลังผ่านกระบวนการชะด้วยกรด จะไม่แสดงร้อยละของ Cr และ Mn ในส่วนของ WTS ที่ผ่านการชะด้วยกรดไนตริก ทั้งนี้เป็นเพราะส่วนที่เหลือนั้นอยู่ในรูปของ  $Cr_2O_3$  และ  $MnO$  เช่นเดียวกับ Cr ใน WTS ที่ผ่านการชะด้วยกรดไฮโดรคลอริก เพราะอยู่ในรูปของ  $Cr_2O_3$  เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เมื่อพิจารณาแล้วจึงสรุปได้ว่า สารละลายกรดที่สามารถชะสารประกอบโลหะหนักออกมาได้มากที่สุด คือ กรดซัลฟิวริก( $H_2SO_4$ ) > กรดไฮโดรคลอริก(HCl) > กรดไนตริก( $HNO_3$ ) > กรดฟอสฟอริก( $H_3PO_4$ ) ตามลำดับ

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำชะละลาย

วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในน้ำชะละลาย ได้แก่ โครเมียม แมงกานีส เหล็ก นิกเกิล ทองแดง และสังกะสี โดยทำการสกัดโลหะหนักจากตัวอย่างน้ำให้อยู่ในรูปสารละลาย นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอฟฟอกซ์ชันสเปกโทรโฟโตเมทรี ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า น้ำชะละลายแสดงดังตารางที่ 4.3 ดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจากน้ำชะละลาย

โลหะหนัก ในตัวอย่าง	WST <sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub> (mg/l)	WST <sub>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></sub> (mg/l)	WST <sub>HCl</sub> (mg/l)	WST <sub>HNO<sub>3</sub></sub> (mg/l)
Zn	179.00	22.64	276.50	337.50
Ni	12.21	5.21	15.33	15.24
Cu	0.72	1.21	0.96	0.73
Mn	11.36	7.24	25.70	20.25
Fe	88.92	0.16	64.00	2.83
Cr	8.61	0.91	3.89	2.29

จากตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายด้วยกรดทั้ง 4 ชนิด จะสังเกตได้กรดทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพในการชะละลายโลหะหนักที่ต่างกัน ดังนี้ สารละลายกรดที่ชะ Zn ได้ดีที่สุด คือ HNO<sub>3</sub> > HCl > H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ Ni ได้ดีที่สุด คือ HCl > HNO<sub>3</sub> > H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ Cu ได้ดีที่สุด คือ H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> > HCl > HNO<sub>3</sub> > H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ Mn ได้ดีที่สุด คือ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > HCl > HNO<sub>3</sub> > H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ Fe ได้ดีที่สุด คือ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > HCl > HNO<sub>3</sub> > H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ตามลำดับ สารละลายกรดที่ชะ Cr ได้ดีที่สุด คือ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > HCl > HNO<sub>3</sub> > H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ตามลำดับ

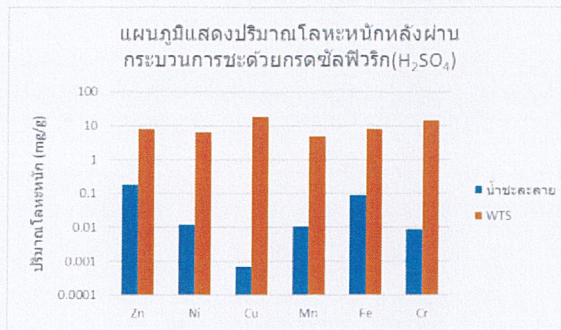
เมื่อพิจารณาแล้วจึงสรุปได้ว่าสารละลายกรดที่ชะโลหะหนักได้มากที่สุด คือ กรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) > กรดไฮโดรคลอริก(HCl) > กรดไนตริก(HNO<sub>3</sub>) > กรดฟอสฟอริก(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) ตามลำดับ

#### 4.3 แสดงผลเปรียบเทียบถึงปริมาณโลหะหนักหลังผ่านกระบวนการชะด้วยกรด

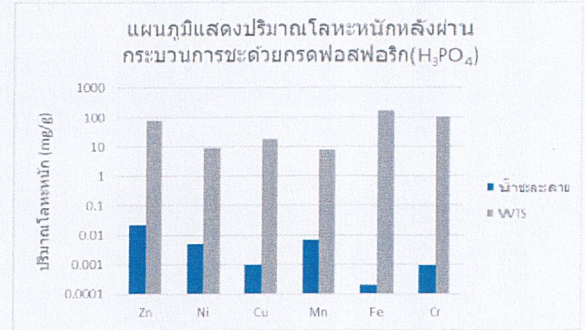
จากผลการทดลอง แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment sludge , WTS) และ ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนถึงความสามารถในการชะโลหะหนักของกรดทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก, กรดฟอสฟอริก, กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก แสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้นอกจากการศึกษารวบรวม ไปเองแล้วแต่ห้ามไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

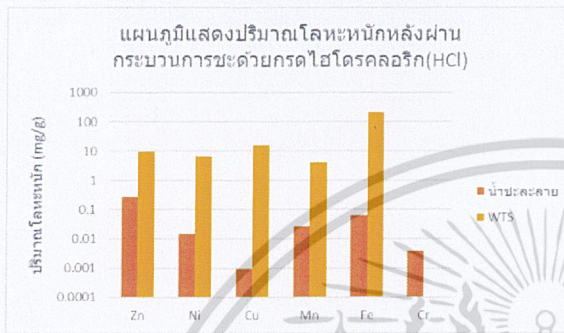
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



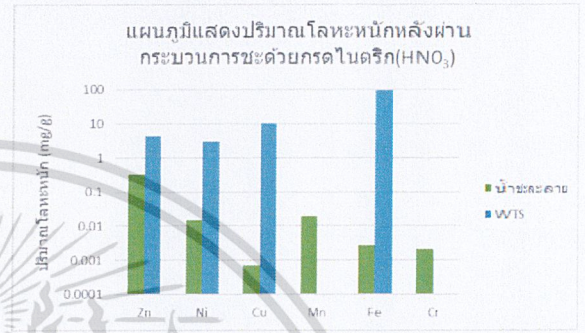
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณโลหะหนักหลังผ่านกระบวนการชะด้วยกรดทั้ง 4 ชนิด ในส่วนของน้ำชะละลายและในกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย(Wastewater treatment sludge , WTS)

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ากรดทั้ง 4 ชนิดสามารถชะโลหะหนักได้แตกต่างกัน แต่นี้เป็นเพียงการแสดงแนวโน้มเปรียบเทียบในภาพรวมเท่านั้น ทั้งนี้ เพราะโลหะหนักบางชนิด เช่น Cr สังเกตได้จากรูปที่ 4.2 (ค) และ (ง) จะไม่แสดงถึงปริมาณของ Cr ในส่วนของ WTS ที่เป็นเช่นนี้เพราะ Cr ใน WTS ที่เหลือจากกระบวนการชะด้วยกรดนั้นอยู่ในรูปของ  $Cr_2O_3$  เช่นเดียวกับโลหะหนัก Mn ในรูปที่ 4.2 (ง) ที่ไม่แสดงถึงปริมาณของ Mn ในส่วนของ WTS เพราะ Mn ที่เหลือจากกระบวนการชะอยู่ในรูปของ MnO ทั้งหมด การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF จึงไม่แสดงผลในรูปของโลหะหนัก แต่แสดงผลในรูปของสารประกอบแทน ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยเรื่อง “การกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้งาน” ในกระบวนการผลิตน้ำประปาได้เกิด waste ขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้การประปานครหลวงต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากเพื่อนำไปกำจัดทิ้ง แต่ทั้งนี้ waste เหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ไม่จะเป็นการนำไปเป็นส่วนผสมทำอิฐบล็อกผสม ทำปุ๋ย เครื่องปั้นดินเผา ฯลฯ อย่างไรก็ตาม waste เหล่านี้ก็เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทำให้มีสิ่งปนเปื้อนที่เป็นอันตราย คือ โลหะหนัก ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นก่อนที่จะนำ waste เหล่านี้ไปใช้งานจำเป็นต้องกำจัดโลหะหนักออกไปจาก waste ออกไปให้ได้มากที่สุด จึงจะสามารถนำไปใช้งานในด้านอื่นๆได้ และยังเป็นการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจำนวนมากที่การประปานครหลวงต้องเสียในทุกๆปีด้วย ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงประโยชน์ในจุดนี้และดำเนินการวิจัยเพื่อหาวิธีที่กำจัดโลหะหนักโดยประหยัดต้นทุนที่สุดเพื่อเป็นอีกหนึ่งแนวทางเลือกด้วย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยการกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการชะโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียด้วยสารละลายกรดทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก และกรดฟอสฟอริก ที่ความเข้มข้น  $1 \text{ mol/dm}^3$  กากตะกอนบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยนี้มาจาก นิคมอุตสาหกรรมปิ่นทอง จ.ชลบุรี กากตะกอนนี้เมื่อแห้งจะมีสีดำปนเทา แข็งแต่ร่วน นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF พบว่ามีโลหะหนักปนเปื้อน คือ แมงกานีส นิกเกิล เหล็ก โครเมียม ทองแดง และสังกะสี โดยในการชะโลหะหนักใช้วิธี acid leaching process โดยควบคุมอัตราส่วนกากตะกอนต่อสารละลายกรดที่ใช้คือ 1:20 อัตราเร็ว 450 รอบ/นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนครบ 24 ชั่วโมง นำของผสมไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำส่วนตะกอนไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF จะพบว่ามีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ถึง 6 ชนิด พบมากที่สุดคือ เหล็ก > สังกะสี > ทองแดง > นิกเกิล > แมงกานีส > โครเมียม ตามลำดับ

จากผลวิเคราะห์ของด้วยเครื่อง XRF ถึงปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตะกอนตัวอย่างนั้นสรุปได้ว่าสารละลายกรดที่สามารถชะสารประกอบโลหะหนักออกมาได้มากที่สุด คือ กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) > กรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) > กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) > กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ตามลำดับ และนำน้ำชะละลายไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วย AAS จะเห็นได้ว่ากรดทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพในการชะละลายโลหะหนักที่แตกต่างกัน โดยสารละลายกรดที่ชะโลหะหนักได้มากที่สุดคือ กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) > กรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) > กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) > กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตทางสนธิสัญญาฯ อื่นๆ อาจมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้แสดงถึงอีกแนวทางหนึ่งในการกำจัดโลหะหนักออกจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสีย เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกากตะกอนเหล่านี้นำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมอื่นๆได้ จึงควรมุ่งงานวิจัยนี้ไปต่อยอด โดยวิจัยสภาวะด้านอื่นๆด้วย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ที่จะสามารถกำจัดโลหะหนักออกมาให้ได้มากที่สุด และประหยัดต้นทุนมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

จิตติ คำสวัสดิ์, เสถียร นิลวัช และอภิชาติ โจรจนโรวรรณ. 2559. การชะละลายโลหะสังกะสีจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมด้วยวิธีโลหะวิทยาการละลาย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสนต์ วิชิตอมรพันธ์ และวรรณ เรืองสำเร็จ. 2547. การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่. กรุงเทพฯ.4-7.

ทิตา ดวงสวัสดิ์. 2554. การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำ บริเวณปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร. สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยทักษิณ. 31-32.

รัฐพล สมณา. วัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และตะกอนประปา. งานประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่. 20-22.

Anonymous. IR Spectrum Table & Chart. [Online]. Available : <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biology/ir-spectrum-table.html>.

Marinos A. Stylianou, Demetra Kollia, Katherine-Joanne Haralambous, Vassilis J. Inglazekis, Konstantinos G. Moustakas and Maria D. Loizidou. 2007. Effect of acid treatment on the removal of heavy metals from sewage sludge. Desalination. 215 : 73-81.

Muhammad Kamran Khalid, Joseph Hamuyani, Vivek Agarwal, Jouni Pihlasalo, Mika Haapalainen and Mari Lundstrom. 2019. Sulfuric acid leaching for capturing value from copper rich converter slag. J. Cleaner. Pro. 215 : 1005-1013 .

Yu-Chung Kuan, I-Hsien Lee and Jia-Ming Chern. 2010. Heavy metal extraction from PCB wastewater treatment sludge by sulfuric acid. J. Hazard. Mater. 177 : 881-886.

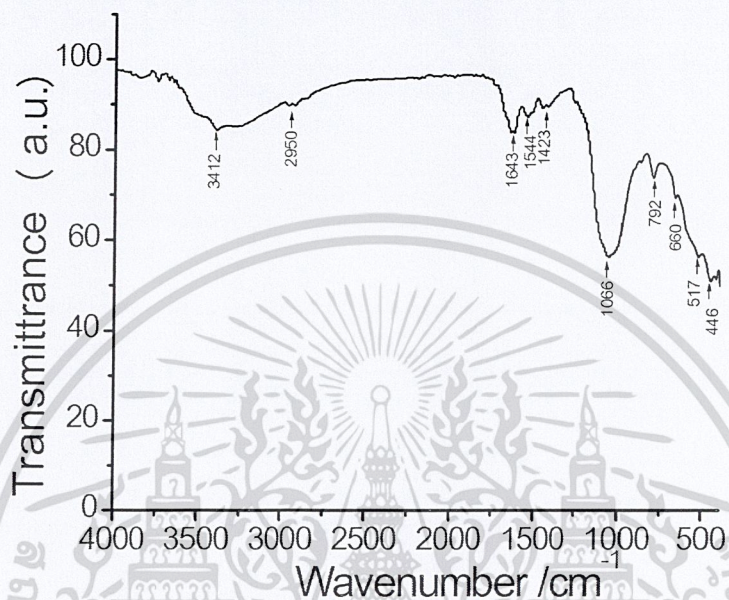
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



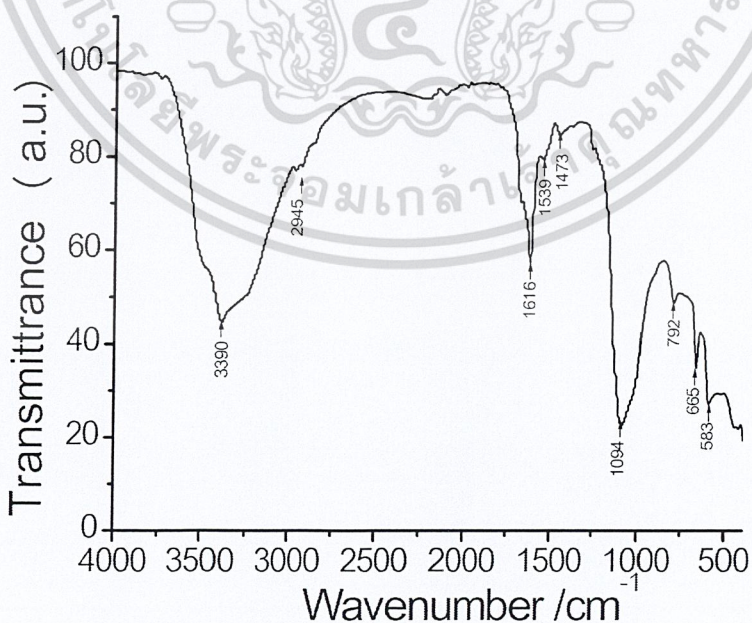
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ FT-IR ของตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง ได้แก่  $WTS_{raw}$  ,  $WTS_{H_2SO_4}$  ,  $WTS_{H_3PO_4}$  ,  $WTS_{HCl}$  และ  $WTS_{HNO_3}$

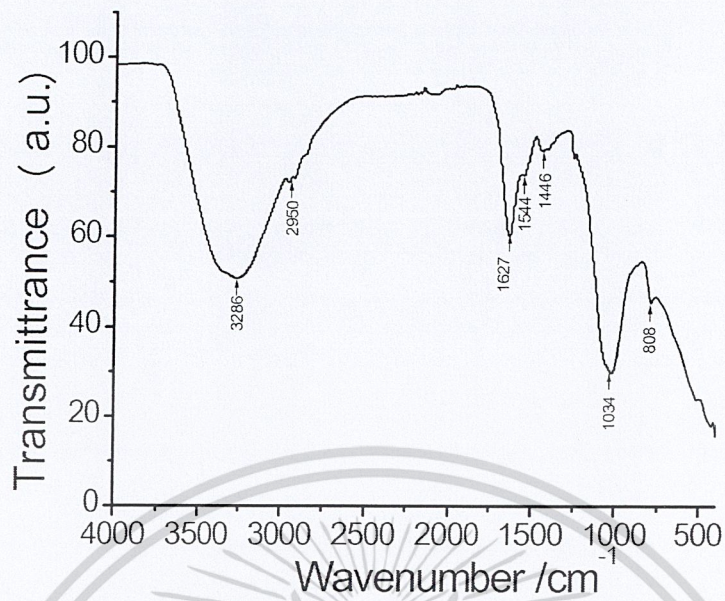


รูปที่ ก-1 IR Spectrum ของ  $WTS_{raw}$

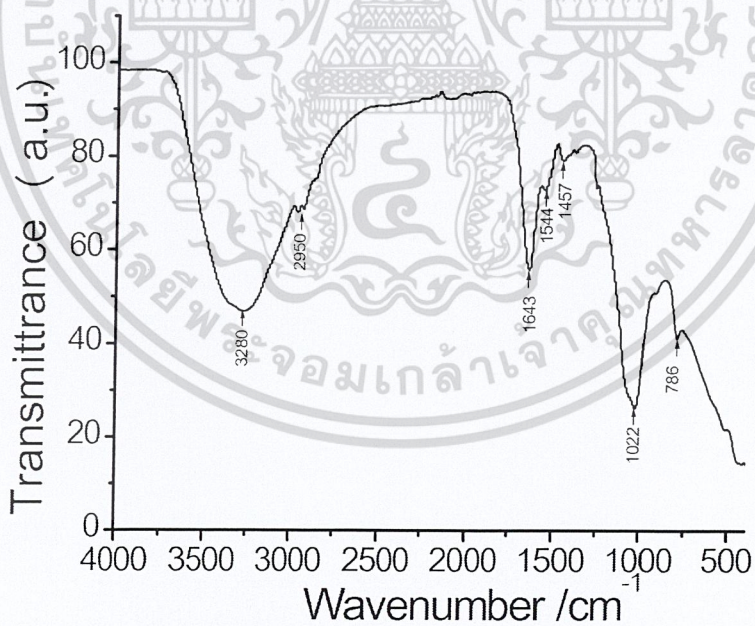


รูปที่ ก-2 IR Spectrum ของ  $WTS_{H_2SO_4}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

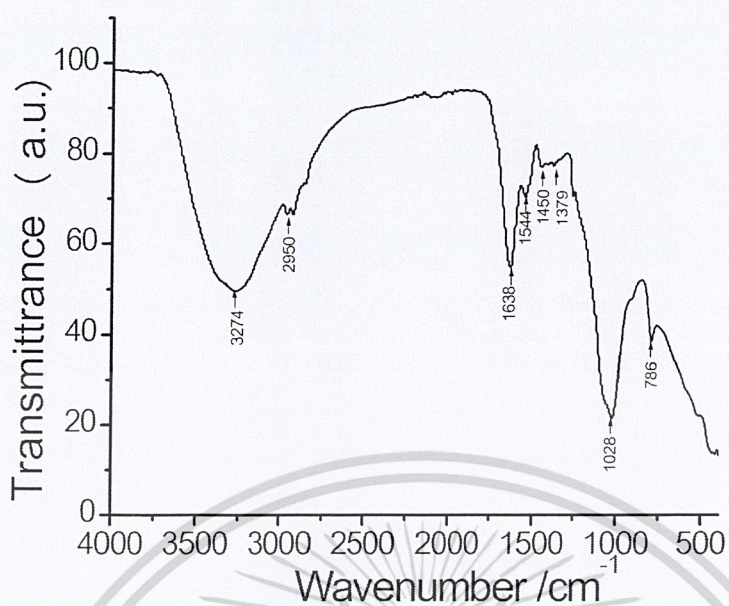


รูปที่ ก-3 IR Spectrum ของ  $WTS_{H_3PO_4}$



รูปที่ ก-1 IR Spectrum ของ  $WTS_{HCl}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 IR Spectrum ของ  $WTS_{HNO_3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง



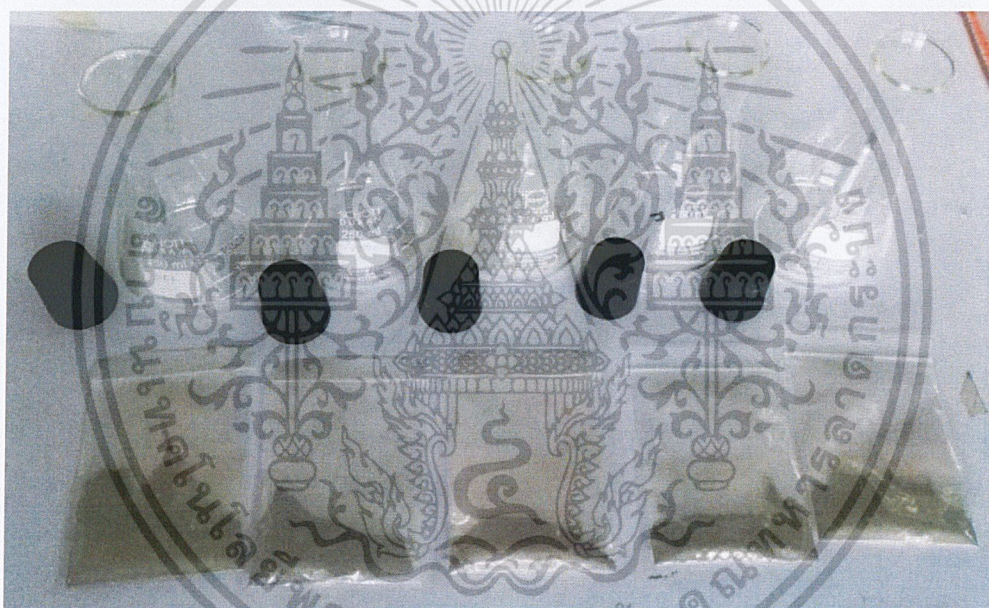
รูปที่ ข-1 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ขอสงวนสิทธิ์ในวงไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ ข-2 wastewater treatment sludge ที่บดและอบแห้งเรียบร้อยแล้ว  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 สารละลายกรดทั้ง 4 ชนิด ปริมาตร 5 ลิตร



รูปที่ ข-4 wastewater treatment sludge ที่ผ่านการชะด้วยกรดทั้ง 4 ชนิดและอบแห้งเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-5 ของเหลวที่กรองแยกออกจากของผสมระหว่างกรดกับ wastewater treatment sludge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

ค-1 การเตรียมสารละลายกรดทั้ง 4 ชนิดที่ความเข้มข้น 1 M

1) กรดซัลฟิวริก( $H_2SO_4$ ) 30% w/w

- เปลี่ยนความเข้มข้นให้เป็นโมลาริตี (Molarity : M)

ในสารละลาย 100 กรัม มี  $H_2SO_4$  อยู่ 30 กรัม

ในสารละลาย 1000 กรัม มี  $H_2SO_4$  อยู่ 300 กรัม

มวลโมเลกุลของ  $H_2SO_4 = 98.08 \text{ g/mol}$

ดังนั้น  $300 \div 98.08 = 3.06 \text{ mol}$ .

เมื่อความหนาแน่นของ  $H_2SO_4 = 1.84 \text{ g/cm}^3$

ในกรด 1000 กรัม มีปริมาตร = 543.47 มิลลิลิตร หรือ 0.54 ลิตร

ดังนั้น  $H_2SO_4$  30% w/w มีความเข้มข้นเท่ากับ  $3.06 \div 0.54 = 5.67 \text{ M}$

- เตรียม  $H_2SO_4$  ให้มีความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 5 ลิตร

จากสูตร  $C_1V_1 = C_2V_2$

แทนค่า  $5.67 V_1 = 1 \times 5$

$V_1 = 0.88 \text{ ลิตร}$

ดังนั้น ใช้  $H_2SO_4$  0.88 ลิตร เติมน้ำกลั่น 4.12 ลิตร

2) กรดไฮโดรคลอริก( $HCl$ ) 35.4% w/w

- เปลี่ยนความเข้มข้นให้เป็นโมลาริตี (Molarity : M)

ในสารละลาย 100 กรัม มี  $HCl$  อยู่ 35.4 กรัม

ในสารละลาย 1000 กรัม มี  $HCl$  อยู่ 354 กรัม

มวลโมเลกุลของ  $HCl = 36.46 \text{ g/mol}$

ดังนั้น  $354 \div 36.46 = 9.71 \text{ mol}$ .

เมื่อความหนาแน่นของ  $HCl = 1.18 \text{ g/cm}^3$

ในกรด 1000 กรัม มีปริมาตร = 847.46 มิลลิลิตร หรือ 0.84 ลิตร

ดังนั้น  $HCl$  35.4% w/w มีความเข้มข้นเท่ากับ  $9.71 \div 0.84 = 11.56 \text{ M}$

- เตรียม  $HCl$  ให้มีความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 5 ลิตร

จากสูตร  $C_1V_1 = C_2V_2$

แทนค่า  $11.56V_1 = 1 \times 5$

$V_1 = 0.43 \text{ ลิตร}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่าง **ดังนั้น** ใช้  $HCl$  0.43 ลิตร เติมน้ำกลั่น 4.57 ลิตร มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กรดฟอสฟอริก( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 85% w/w

- เปลี่ยนความเข้มข้นให้เป็นโมลาริตี (Molarity : M)

ในสารละลาย 100 กรัม มี  $\text{H}_3\text{PO}_4$  อยู่ 85 กรัม

ในสารละลาย 1000 กรัม มี  $\text{H}_3\text{PO}_4$  อยู่ 850 กรัม

มวลโมเลกุลของ  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98.00 \text{ g/mol}$

ดังนั้น  $850 \div 98.00 = 8.67 \text{ mol}$ .

เมื่อความหนาแน่นของ  $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1.685 \text{ g/cm}^3$

ในกรด 1000 กรัม มีปริมาตร = 593.47 มิลลิลิตร หรือ 0.59 ลิตร

ดังนั้น  $\text{H}_3\text{PO}_4$  85% w/w มีความเข้มข้นเท่ากับ  $8.67 \div 0.59 = 14.69 \text{ M}$

- เตรียม  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ให้มีความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 5 ลิตร

จากสูตร  $C_1V_1 = C_2V_2$

แทนค่า  $14.69V_1 = 1 \times 5$

$$V_1 = 0.34 \text{ ลิตร}$$

ดังนั้น ใช้  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0.34 ลิตร เติมลงในน้ำกลั่น 4.66 ลิตร

4) กรดไนตริก( $\text{HNO}_3$ ) 68% w/w

- เปลี่ยนความเข้มข้นให้เป็นโมลาริตี (Molarity : M)

ในสารละลาย 100 กรัม มี  $\text{HNO}_3$  อยู่ 68 กรัม

ในสารละลาย 1000 กรัม มี  $\text{HNO}_3$  อยู่ 680 กรัม

มวลโมเลกุลของ  $\text{HNO}_3 = 63.012 \text{ g/mol}$

ดังนั้น  $680 \div 63.012 = 10.79 \text{ mol}$ .

เมื่อความหนาแน่นของ  $\text{HNO}_3 = 1.5129 \text{ g/cm}^3$

ในกรด 1000 กรัม มีปริมาตร = 660.98 มิลลิลิตร หรือ 0.66 ลิตร

ดังนั้น  $\text{HNO}_3$  68% w/w มีความเข้มข้นเท่ากับ  $10.79 \div 0.66 = 16.35 \text{ M}$

- เตรียม  $\text{HNO}_3$  ให้มีความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 5 ลิตร

จากสูตร  $C_1V_1 = C_2V_2$

แทนค่า  $16.35V_1 = 1 \times 5$

$$V_1 = 0.31 \text{ ลิตร}$$

ดังนั้น ใช้  $\text{HNO}_3$  0.31 ลิตร เติมลงในน้ำกลั่น 4.69 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-2 การคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายที่มีการเจือจางจากการนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

$$\text{จากสูตร } C = [M_t \times (B/V)] - M_b$$

เมื่อ  $C$  = ความเข้มข้นของโลหะ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$M_t$  = ความเข้มข้นของโลหะหนักจาก test portion (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$M_b$  = ความเข้มข้นของโลหะจาก Blank (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$B$  = ปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่าง (Final volume, มิลลิลิตร)

$V$  = ปริมาตรของสารละลาย (Original Sample, มิลลิลิตร)

1) Zn

- 0.553 เจือจาง 500 เท่า

$$C = [0.553 \times (100/0.2)] - 0 = 276.50 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 0.385 เจือจาง 500 เท่า

$$C = [0.385 \times (100/0.2)] - 0 = 179.00 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 0.566 เจือจาง 40 เท่า

$$C = [0.566 \times (100/2.5)] - 0 = 22.64 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 0.675 เจือจาง 500 เท่า

$$C = [0.675 \times (100/0.2)] - 0 = 337.50 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

2) Ni

- 1.533 เจือจาง 10 เท่า

$$C = [1.533 \times (50/5)] - 0 = 15.33 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 1.221 เจือจาง 10 เท่า

$$C = [1.221 \times (50/5)] - 0 = 12.21 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 0.521 เจือจาง 10 เท่า

$$C = [0.521 \times (50/5)] - 0 = 5.21 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 1.524 เจือจาง 10 เท่า

$$C = [1.524 \times (50/5)] - 0 = 15.24 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) Mn

- 0.514 เจือจาง 50 เท่า

$$C = [0.514 \times (100/2)] - 0 = 25.7 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 0.284 เจือจาง 40 เท่า

$$C = [0.284 \times (100/2.5)] - 0 = 11.36 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 0.362 เจือจาง 20 เท่า

$$C = [0.362 \times (50/2.5)] - 0 = 7.24 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 0.405 เจือจาง 50 เท่า

$$C = [0.405 \times (100/2)] - 0 = 20.25 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

## 4) Fe

- 1.600 เจือจาง 40 เท่า

$$C = [1.600 \times (100/2.5)] - 0 = 64.00 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 2.223 เจือจาง 40 เท่า

$$C = [2.223 \times (100/2.5)] - 0 = 88.92 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

## 5) Cr

- 1.947 เจือจาง 2 เท่า

$$C = [1.947 \times (10/5)] - 0 = 3.894 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 4.306 เจือจาง 2 เท่า

$$C = [4.306 \times (10/5)] - 0 = 8.612 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

- 1.148 เจือจาง 2 เท่า

$$C = [1.148 \times (10/5)] - 0 = 2.296 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-3 การคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในตะกอนตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF  
จากสูตร

$$\text{ร้อยละ} = \frac{\text{ปริมาณตัวอย่างหลังการชะ (กรัม)}}{\text{ปริมาณตัวอย่างทั้งหมด (กรัม)}} \times 100$$

1. Zn

$$\text{ปริมาณตัวอย่างหลังการชะ} = \frac{\text{ร้อยละ (\%)} \times \text{กรัม}}{100}$$

- $WTS_{HNO_3}$   $[(0.166 \times 4.92) / 100] = 8.16$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_3PO_4}$   $[(1.64 \times 4.88) / 100] = 80.05$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{HCl}$   $[(0.190 \times 4.88) / 100] = 9.27$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_2SO_4}$   $[(0.091 \times 4.79) / 100] = 4.35$  มิลลิกรัมต่อกรัม

2. Ni

$$\text{ปริมาณตัวอย่างหลังการชะ} = \frac{\text{ร้อยละ (\%)} \times \text{กรัม}}{100}$$

- $WTS_{HNO_3}$   $[(0.13 \times 4.92) / 100] = 6.39$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_3PO_4}$   $[(0.182 \times 4.88) / 100] = 8.88$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{HCl}$   $[(0.14 \times 4.88) / 100] = 6.83$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_2SO_4}$   $[(0.064 \times 4.79) / 100] = 3.06$  มิลลิกรัมต่อกรัม

3. Cu

$$\text{ปริมาณตัวอย่างหลังการชะ} = \frac{\text{ร้อยละ (\%)} \times \text{กรัม}}{100}$$

- $WTS_{HNO_3}$   $[(0.377 \times 4.92) / 100] = 18.50$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_3PO_4}$   $[(0.364 \times 4.88) / 100] = 17.76$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{HCl}$   $[(0.334 \times 4.88) / 100] = 16.29$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_2SO_4}$   $[(0.214 \times 4.79) / 100] = 10.25$  มิลลิกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Mn ปริมาณตัวอย่างหลังการชะ =  $\frac{\text{ร้อยละ (\%)} \times \text{กรัม}}{100}$

- $WTS_{HNO_3}$   $[(0.097 \times 4.92) / 100] = 4.77$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_3PO_4}$   $[(0.16 \times 4.88) / 100] = 7.80$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{HCl}$   $[(0.085 \times 4.88) / 100] = 4.14$  มิลลิกรัมต่อกรัม

5. Fe ปริมาณตัวอย่างหลังการชะ =  $\frac{\text{ร้อยละ (\%)} \times \text{กรัม}}{100}$

- $WTS_{HNO_3}$   $[(0.166 \times 4.92) / 100] = 8.16$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_3PO_4}$   $[(3.51 \times 4.88) / 100] = 171.28$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{HCl}$   $[(4.44 \times 4.88) / 100] = 216.67$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_2SO_4}$   $[(2.00 \times 4.79) / 100] = 95.8$  มิลลิกรัมต่อกรัม

6. Cr ปริมาณตัวอย่างหลังการชะ =  $\frac{\text{ร้อยละ (\%)} \times \text{กรัม}}{100}$

- $WTS_{HNO_3}$   $[(0.30 \times 4.92) / 100] = 14.7$  มิลลิกรัมต่อกรัม
- $WTS_{H_3PO_4}$   $[(2.086 \times 4.88) / 100] = 101.79$  มิลลิกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้