

การดูดซับสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

โดยใช้เถ้าหนักจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชน

ADSORPTION OF ZINC (ZN) CONTAMINATED IN

ELECTRONIC INDUSTRIAL WASTEWATER USING

WASTE INCINERATOR BOTTOM ASH FROM

A MUNICIPAL SOLID WASTE-TO-ENERGY POWER PLANT



ธัญญา ประทิน

นุชนารถ กล่อมความสุข

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF ZINC (ZN) CONTAMINATED IN
ELECTRONIC INDUSTRIAL WASTEWATER USING
WASTE INCINERATOR BOTTOM ASH FROM
A MUNICIPAL SOLID WASTE-TO-ENERGY POWER PLANT



Thananya Prathin
Nuchanart Klomkwamsuk

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การดูดซับสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้
 ถ้ำหนักจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชน

ชื่อนักศึกษา นางสาวธัญญา ประทีน รหัสนักศึกษา 63050305
 นางสาวนุชนารถ กล่อมความสุข รหัสนักศึกษา 63050330

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
 ภาควิชา เคมี
 คณะ วิทยาศาสตร์
 ปีการศึกษา 2566
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช
 ดร.ปรารักษ์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา
 2566

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
ดร.ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.ปรารักษ์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ ถ่านกจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชน	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรณัญญา ประทีน	รหัสนักศึกษา 63050305
	นางสาวนุชนารถ กล่อมความสุข	รหัสนักศึกษา 63050330
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
ปีการศึกษา	2566	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช ดร.ปรารงค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ญกรอ	

บทคัดย่อ

ถ่านกจัดเป็นของเสียจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะที่ต้องมีการจัดการแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายในการจัดการสูง หนึ่งในวิธีการจัดการคือการนำถ่านกมาเป็นวัสดุดูดซับเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำของน้ำเสียปนเปื้อนโลหะ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำถ่านกจากโรงงานพลังงานไฟฟ้าขยะชุมชนมาดูดซับสังกะสีที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการวิเคราะห์ ได้แก่ (1) ลักษณะทางกายภาพและเคมี (2) ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน และ (3) สภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ปนเปื้อนสังกะสีด้วยถ่านก การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (Wavelength dispersive X-ray Fluorescence, WD-XRF) บ่งชี้ว่าถ่านกมีรูพรุนเป็นจำนวนมากและมีปริมาณของโลหะหนักชนิดต่างๆ น้อย จึงสามารถนำมาเป็นตัวดูดซับเพื่อการบำบัดสังกะสีในน้ำเสียได้ จากการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนของถ่านกพบว่าสามารถดูดซับไอโอดีนได้ 652.8 mg/g ซึ่งแสดงความสามารถในการดูดซับของถ่านกที่ไม่ด้อยไปกว่าวัสดุดูดซับจากของเสียอื่นๆ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีของถ่านกทำโดยการปั่นกวนถ่านกในอัตราส่วนต่อน้ำปริมาตรเสียและรอบการปั่นที่แตกต่างกันในน้ำเสียสังเคราะห์ ($ZnCl_2:NaCl$) พบว่าอัตราส่วนถ่านกต่อปริมาตรน้ำเสียและรอบการปั่นที่เหมาะสม คือ 1 กรัมต่อน้ำเสีย 100 mL และ 100 รอบต่อนาทีตามลำดับ

คำสำคัญ: ถ่านก, การดูดซับ, สังกะสี, ไอโอดีนนมเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Adsorption of Zinc (Zn) Contaminated in Electronic Industrial Wastewater using Waste Incinerator Bottom Ash from a Municipal Solid Waste-to-energy Power Plant	
Student name	Miss Thananya Prathin	Student ID 63050305
	Miss Nuchanart Klomkwamsuk	Student ID 63050330
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
Academic Year	2023	
Adviso	Piyaporn Sricharoenvech, Ph.D.	
Co- Advisor	Prangtip Rittichote Kaewpengkrow, Ph.D.	

Abstract

Bottom ash generated from a municipal solid waste-to-energy power plant is considered waste and must be managed regardless of its high waste management cost. One plausible solution is to utilize the bottom ash as an adsorbent for heavy metal-contaminated wastewater. This study investigated the possibility of using bottom ash from a municipal solid waste-to-energy power plant for Zn-contaminated electronics industrial wastewater through adsorption by (1) analyzing the physical and chemical properties of bottom ash, (2) investigating its iodine adsorption capacity, and (3) optimum bottom ash-to-wastewater ratio and rotational speed for Zn-contaminated wastewater treatment. The results from a scanning electron microscope (SEM) and a Wavelength dispersive X-ray Fluorescence (WD-XRF) revealed that bottom ash is porous and contained only small amounts of heavy metals, indicating that bottom ash can acceptably be used for Zn adsorption in wastewater. The bottom ash adsorbed 652.8 mg of iodine/g ash, similar to other waste-based adsorbents. The study on the optimum bottom ash-to-wastewater ratio and optimum rotational speed using artificial wastewater contaminated with Zn indicated that the suitable ratio and rotational speed were 1 gram per 100 mL of wastewater and 100 rounds per minute (rpm), respectively.

Keywords: Bottom ash, Adsorption, Zinc, Iodine number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การดูดซับสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ถ่านหินจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชนสามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช และ ดร.ปรารค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา คำแนะนำ เสนอแนวคิด ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อวิจัยนี้ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมทั้งยังช่วยให้การทำงานของผู้วิจัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งบุคลากรในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้บริหารระดับสูงของโรงงานไฟฟ้าขยะ จ.นนทบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการส่งตัวอย่างถ่านหินมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการโครงการพัฒนาวิชาการดินปุ๋ยและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์วิเคราะห์ตัวอย่างในโครงการวิจัยครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.วรท โชติปฏิเวชกุล หัวหน้าภาควิชาเคมี และคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนงานวิจัยและให้งบประมาณในการดำเนินงานในครั้งนี้

ธัญญา ประทิน
นุชนารถ กลุ่มความสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เล้าหนัก.....	3
2.1.1 นิยามของเล้าหนัก.....	3
2.1.2 การใช้ประโยชน์จากเล้าหนัก.....	3
2.2 สังกะสี.....	4
2.2.1 ข้อมูลทั่วไป.....	4
2.2.2 ความเป็นพิษของสังกะสี.....	5
2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope).....	5
2.3.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	5
2.3.1.1 สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ.....	5
2.3.1.2 สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ.....	5
2.3.1.3 สัญญาณภาพจากรังสีเอ็กซ์.....	5
2.4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer).....	6
2.4.1 หลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF).....	6
2.5 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	7
2.5.1 หลักการทำงานของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	7
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	10
3.1.1 วัสดุดูดซับ.....	10
3.1.2 สารเคมี.....	10
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	10
3.2.1 อุปกรณ์.....	11
3.2.2 เครื่องมือ.....	11
3.3 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ้ำหนัก.....	11
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างให้แห้ง.....	11
3.3.2 การติดตัวอย่างบนแท่นติดตัวอย่าง.....	11
3.3.3 การฉาบผิวตัวอย่าง.....	11
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำหนัก.....	12
3.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Iodine number).....	12
3.6 หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสี.....	13
3.6.1 การสังเคราะห์น้ำเสียปนเปื้อนสังกะสี.....	13
3.6.2 การศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนถ้ำหนักต่อน้ำเสียและรอบการปั่น ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ.....	13
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก.....	14
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำหนัก.....	15
4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของถ้ำหนัก.....	15
4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำหนัก.....	15
4.2 การวิเคราะห์ทางเคมี.....	18
4.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับของถ้ำหนักด้วยวิธีไอโอดีนนัมเบอร์.....	18
4.2.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับโลหะสังกะสีของถ้ำหนัก.....	18
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	21
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	22
ภาคผนวก ก มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน.....	24
ภาคผนวก ข การเตรียมวัสดุ.....	27
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความสามารถในการวิเคราะห์ไอโอดีน.....	28
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน.....	30
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสี.....	32
ภาคผนวก ฉ รูปภาพการทดลอง.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของสังกะสี.....	4
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์เถ้าหนักด้วยเทคนิค XRF of industrial waste catalyts.....	17
ตารางที่ 4.2 การดูดซับไอโอดีนของวัสดุดูดซับที่ต่างกัน.....	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	เก้าอี้เหล็ก.....	3
รูปที่ 2.2	สังกะสี.....	4
รูปที่ 2.3	ปริมาณปฏิสัมพันธ์ของอิเล็กตรอนและชนิดของสัญญาณที่สร้างขึ้น.....	6
รูปที่ 2.4	Atomic model for the X-Ray Fluorescence Analysis method.....	6
รูปที่ 2.5	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	7
รูปที่ 4.1	Scanning Electron Microscope (SEM) ของเก้าอี้เหล็ก กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	16
รูปที่ 4.2	Scanning Electron Microscope (SEM) ของเก้าอี้เหล็ก กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	16
รูปที่ 4.3	การดูดซับสังกะสีของเก้าอี้เหล็กเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการปั่นกววนครั้งที่ 1.....	18
รูปที่ 4.4	การดูดซับสังกะสีของเก้าอี้เหล็กเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการปั่นกววนครั้งที่ 2.....	19
รูปที่ 4.5	การดูดซับสังกะสีของเก้าอี้เหล็กเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเก้าอี้เหล็กต่อน้ำเสียครั้งที่ 1.....	19
รูปที่ 4.6	การดูดซับสังกะสีของเก้าอี้เหล็กเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเก้าอี้เหล็กต่อน้ำเสียครั้งที่ 2.....	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
XRF	เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์
kJ/mol	กิโลจูลต่อโมล
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg	มิลลิกรัม
g	กรัม
L/mg	ลิตรต่อมิลลิกรัม
eV	อิเล็กตรอนโวลต์
AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันไฟฟ้าจากโรงงานไฟฟ้าเป็นของเหลือจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ถ่านหินและขยะชุมชน ซึ่งเป็นของเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมาก โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ จ.นนทบุรี ใช้เทคโนโลยีแบบเผาตรงระบบปิดเพื่อนำพลังงานความร้อนไปผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเผาไหม้ขยะที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งประกอบด้วย ระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศที่มีประสิทธิภาพ เป็นที่ยอมรับและใช้ในหลายประเทศสามารถเผาขยะได้ทุกชนิดพร้อมๆ กัน เช่น เศษไม้ กระดาษ พลาสติก ยาง ผ้า และ เศษอาหาร จากทั้งขยะเก่าและขยะใหม่ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเทคโนโลยีการเผาขยะมูลฝอยจะเป็นวิธีลดปริมาณของขยะมูลฝอยได้มากที่สุด แต่ยังคงมีเถ้าตกค้างเป็นปริมาณมาก เถ้าจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยชุมชนแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เถ้าหนัก (Bottom Ash) ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งออกมาจากระบบเผาไหม้และถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำในช่องระบายเถ้า เถ้าจะถูกระบายสู่บ่อพักเถ้า จากนั้นใช้เครนในการขนถ่ายสู่รถบรรทุกแล้วนำไปฝังกลบ เถ้าอีกประเภทหนึ่ง คือ เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กและถูกดักไว้ด้วยอุปกรณ์กรองฝุ่นชนิดถุง (Bag Filter) ก่อนปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยเถ้าที่ดักจับได้จะถูกส่งไปฝังกลบในหลุมฝังกลบ (วรวิทย์ โพธิ์จันทร์ และคณะ, 2563) ซึ่งเถ้าจากโรงงานไฟฟ้าจัดเป็นของเสียอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง “การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2566” (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2566) ซึ่งจะมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 เป็นต้นไป นอกจากนี้ เถ้าโรงงานไฟฟ้ายังจัดเป็นของเสียอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นมลพิษทางอากาศ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เป็นสาเหตุของโรคระบบทางเดินหายใจ ความผิดปกติทางประสาทและนำไปสู่การเสียชีวิต (MGR Online, 2560) โดยทั่วไปแล้ว เถ้าโรงงานไฟฟ้าสามารถถูกกำจัดได้ด้วยการนำไปฝังกลบซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง จึงมีแนวคิดในการนำกลับมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์

สังกะสี (Zinc, Zn) เป็นโลหะหนักที่ปะปนออกมากับน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ เนื่องจากสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางการรับประทานอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนและผ่านการหายใจ (มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลย์สงคราม, 2561; Sci spec, 2019) ซึ่งจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น ตาอักเสบ ระคายเคืองคอและจมูก หายใจติดขัด เจ็บหน้าอก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วงอย่างรุนแรง และอาการอื่นและเหนื่อยง่าย (มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลย์สงคราม, 2561; เอกชัย เรื่องดำ, 2560) นอกจากนี้สังกะสียังอาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะปลาและหอย เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่มากเกินไปเกินความต้องการปลาอาจทำลายเหงือกของปลา หรือส่งผลกระทบต่ออาการวางไข่และตัวอ่อนของปลา โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นสังกะสี 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถฆ่าตัวอ่อนของหอย และมีความเป็นพิษต่อปลาและหอยสองฝาที่ระดับความเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ, 2557) ปัจจุบันค่ามาตรฐานของความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำทิ้งโรงงานอยู่ที่ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง จากโรงงาน พ.ศ. 2560” (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2560)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสังกะสีในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเถ้าหนักจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะที่เหลือจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณกากของเสียที่ต้องทำการบำบัด เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วยการปรับปรุงน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีของเถ้าหนักจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะ
2. ศึกษาอัตราส่วนเถ้าหนักต่อปริมาณน้ำเสียและความเร็วรอบการปั่นกวนในสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสังกะสี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความรู้พื้นฐานและความสามารถในการดูดซับสังกะสีของเถ้าหนักจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะ
2. ศึกษาอัตราส่วนเถ้าหนักต่อปริมาณน้ำเสียและความเร็วรอบการปั่นกวนในสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสังกะสี
3. ใช้เถ้าหนักจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะ จ.นนทบุรี เป็นตัวดูดซับโลหะสังกะสีในน้ำเสีย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบการดูดซับโลหะสังกะสีด้วยเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ
2. ทราบลักษณะทางกายภาพและเคมีที่สำคัญของเถ้าหนัก ได้แก่ ความรู้พื้นฐาน และองค์ประกอบทางเคมี
3. ทราบอัตราส่วนของเถ้าหนักต่อปริมาณน้ำเสียปนเปื้อน (bottom ash-to-wastewater ratio) และรอบความปั่นกวน (rotational speed) ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดโลหะหนักสังกะสีในน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เถ้าหนัก

2.1.1 นิยามของเถ้าหนัก

เถ้าหนัก (Bottom ash หรือ wet ash) เป็นเถ้าที่ได้จากการปะทะกันของอนุภาคเถ้าบริเวณที่เกิดการสันดาป (Combustion zone) ซึ่งอุณหภูมิบริเวณนี้สามารถหลอมเถ้าที่มาปะทะกันให้เป็นเม็ดหรือก้อนแล้วตกลงสู่กันเตา โดยบางส่วนของเถ้าปะทะกับผนังเตาแล้วหลอมติดกันรวมเป็นก้อนขนาดใหญ่ที่เรียกว่า Slag แล้วจึงตกลงสู่กันเตาเมื่อมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้น โดยทั่วไปเถ้าหนักมีขนาดประมาณ 0.5 - 10 มิลลิเมตร ค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 3 - 5 อาจมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดกลมๆ หรือก้อนรูปร่างไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพการเผาไหม้ นอกจากนี้แล้ว เถ้าหนักมีความคมเนื่องจากส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา (SiO_2) ซึ่งแข็งคล้ายทราย (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.1 เถ้าหนัก

(ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตประเทศไทย, 2021)

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากเถ้าหนัก

ปัจจุบัน ประเทศไทยมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้โรงไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิงต้องใช้เชื้อเพลิง (เช่น ถ่านหิน ขยะมวลอัดเม็ด) ในการสันดาปเป็นจำนวนมากและเกิดวัสดุพลอยได้จากการเผาไหม้ (เช่น เถ้าถ่านหิน) แผลงเถ้าถ่านหินในประเทศไทยส่วนใหญ่มาจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะใช้ถ่านหินประมาณวันละ 40,000 ตัน ซึ่งปริมาณเถ้าถ่านหินที่เหลือจากกระบวนการเผาถ่านหินเกิดเป็นเถ้าปริมาณ 10,000 ตันต่อวัน สามารถแบ่งได้เป็นเถ้าลอย (Fly ash) ร้อยละ 80 และเถ้าหนักร้อยละ 20 โดยปัจจุบันเถ้าลอยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแพร่หลาย แต่ในทางกลับกัน เถ้าหนักมักไม่ถูกนำมาใช้งาน ซึ่งหากสามารถนำเถ้าหนักไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในงานวิศวกรรมโยธาแล้ว ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเถ้าหนัก ลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเถ้าหนัก อนุภาคส่วนใหญ่ของเถ้าหนักมีลักษณะพื้นผิวแบบขรุขระ และมีเหลี่ยมคมซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเถ้าลอย ในสภาพแห้งจะเป็นฝุ่นไม่มีคุณสมบัติการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาคแต่สามารถใช้เพิ่มความแข็งแรงให้วัสดุในการก่อสร้างถนนด้วยการขัดกันของอนุภาค (ศักดา หล้าใจ, 2565) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สังกะสี

2.2.1 ข้อมูลทั่วไป

สังกะสี (Zinc, Zn) (รูปที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.1) เป็นโลหะธาตุสีเงิน ลักษณะมันวาว ที่นิยมนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเป็นโลหะโครงสร้างหรือโลหะผสมกับโลหะอื่นสำหรับประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ นอกจากนี้ สังกะสียังเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการที่สามารถพบได้ในร่างกายมนุษย์และสัตว์ สังกะสีที่พบในธรรมชาติจะไม่อยู่ในรูปของธาตุอิสระ แต่มักพบสังกะสีในดินประมาณ 120 กรัมต่อตัน (Siamchemi, ม.ป.ป.) โดยอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (ZnS) และมักปนกับซัลไฟด์ของโลหะอื่น เช่น เหล็ก ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง สำหรับสังกะสีที่พบเป็นสินแร่มักพบในรูปแร่เฮมิเมอร์ไฟต์ $[Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2(H_2O)]$ แร่สมิทซอไนต์ ($ZnCO_3$) และแร่ซิงไคต์ (ZnO) สำหรับแร่สังกะสีที่พบมากที่สุดในโลก คือ แร่สฟาเลอไรต์ (ZnS)



รูปที่ 2.2 สังกะสี
(ที่มา: siamchemi, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของสังกะสี

คุณลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมี	
เลขอะตอม	30
น้ำหนักอะตอม (กรัม/โมล)	65.39
โครงสร้างผลึก	hexagonal close-packed (hcp)
จุดเดือด (°C)	907
จุดหลอมเหลว (°C)	419.5
ความหนาแน่น ที่ 25 (°C) (กรัม/ลบ.ซม.)	7.133
ความร้อนจำเพาะ ที่ 25 (°C) (แคลอรี/กรัม)	0.0925
ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (แคลอรี/กรัม)	24.4
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (แคลอรี/กรัม)	419.5
การจัดระดับอิเล็กตรอน	$[Ar] 4s^2 3d^{10}$
ออกซิเดชันสเตท	+2
ค่าความต่างศักย์, E_0 (volts)	-0.763

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา : siamchemi (ม.ป.ป.)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความเป็นพิษ

สังกะสีที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมมักเกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสังกะสีเป็นส่วนประกอบหรือการตกค้างหลังการบำบัด สังกะสีมักถูกปลดปล่อยในรูปของมลพิษฝุ่นหรือไอสารที่ลอยในอากาศ เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นหรือไอของสังกะสีในปริมาณมากจากการสูดดม จะเกิดอาการระคายเคือง ไอ หลอดลมอักเสบ ปอดบวม เหนื่อยล้า อ่อนแรง มีอาการปวดกล้ามเนื้อ คลื่นไส้ มีไข้ มีอาการหนาวสั่น และผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งมักเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 4 - 12 ชั่วโมงหลังการสัมผัส อาการเหล่านี้จะหายเป็นปกติภายใน 1 - 2 ชั่วโมง เรียกชื่อโรคนี้นว่า โรคไข้วันจันทร์ (Monday fever) หรือโรคไข้พิษโลหะ (metal fume fever) การรับประทานสังกะสีเข้าไปจะทำให้เกิดการกัดกร่อนบริเวณทางเดินอาหารส่วนต้น ได้แก่ หลอดอาหารและกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดอาการอักเสบ ปวดท้องอย่างรุนแรง และอาจทำให้ทางเดินอาหารตีบตันได้ (siamchemi, 2014) สำหรับสัตว์น้ำ สังกะสีสามารถเข้าไปทำลายเซลล์บริเวณเหงือกและมีผลต่อระบบสืบพันธุ์และวางไข่ รวมไปถึงอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำด้วย เมื่อมีปริมาณสังกะสีที่มากเกินไปในแหล่งน้ำ (พรพิมล เชื้อดวง, 2555)

2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาพื้นผิวของตัวอย่าง โดยลำอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุ ภาพที่ได้จากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ มีกำลังขยายตั้งแต่ 20 - 800,000 เท่า จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง และนิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่างการเรียงตัวของผลึก (ศุภยรัตน์ วัฒนวิเศษ, ม.ป.ป.)

2.3.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบ thermionic emission ศักย์เร่งอิเล็กตรอนปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 1 - 30 กิโลโวลต์ (kV) สัญญาณที่ SEM ใช้ในการสร้างภาพเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ของลำแสงอิเล็กตรอนกับอะตอมที่ในระดับความลึกต่าง ๆ ภายในตัวอย่างตามลักษณะสัญญาณภาพที่ได้จากสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่

2.3.1.1 สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron image, SEI)

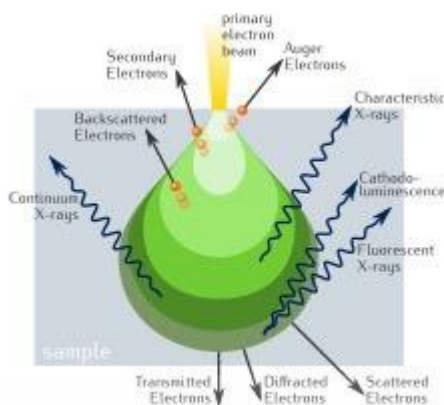
อิเล็กตรอนทุติยภูมิ เป็นกลุ่มอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ (3 - 5 eV) เกิดที่พื้นผิวระดับไม่เกิน 10 นาโนเมตร โดยเกิดจากธาตุที่มีแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ผิวต่ำ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ป.)

2.3.1.2 สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (backscattered electron image, BEI)

อิเล็กตรอนกระเจิงกลับเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่เกิดจากการกระเจิงมุมสูง (มากกว่า 90 องศา) พลังงานสูญเสียให้กับอิเล็กตรอนบางส่วนในชิ้นงานและกระเจิงกลับออกมา ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ เกิดที่พื้นผิวระดับลึกกว่า 10 นาโนเมตร เกิดได้ดีกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ป.)

2.3.1.3 สัญญาณภาพจากรังสีเอ็กซ์ (X-Ray image, XRI)

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่าง ๆ ที่ถูกกระตุ้นหรือได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรนั้น ทำให้อะตอมต้องรักษาสสมดุลโครงสร้างภายในอะตอมด้วยการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปขึ้นมาแทนที่และลดระดับพลังงานภายในเพื่อทำให้ตัวเองมีพลังงานเท่ากับชั้นโคจรที่ไปแทนที่ จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ธาตุตามระดับพลังงานของตัวอย่างในแต่ละธาตุได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ป.)



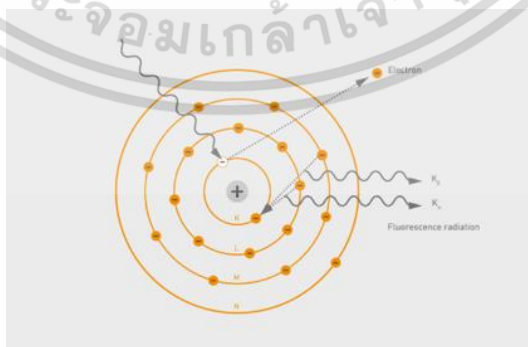
รูปที่ 2.3 ปริมาณปฏิสัมพันธ์ของอิเล็กตรอนและชนิดของสัญญาณที่สร้างขึ้น
(ที่มา : วิกิภาษาไทย, ม.ป.ป.)

2.4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometer)

เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยการวัดปริมาณรังสีฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

2.4.1 หลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)

เมื่อเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์เริ่มการตรวจวัด หลอด X-ray จะปล่อยรังสีพลังงานสูงออกมาซึ่งเรียกว่า รังสีปฐมภูมิ (primary beam) เมื่อรังสีเอ็กซ์นี้กระทบกับอะตอมในสารตัวอย่าง รังสีเอ็กซ์จะเพิ่มพลังงานไอออไนเซชัน (Ionization energy) และกระตุ้นให้อะตอมขับอิเล็กตรอนออกมาใกล้นิวเคลียส เรียกว่า กระบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) เนื่องจากสถานะนี้ไม่เสถียรอิเล็กตรอนในชั้นที่มีพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่ เช่น จากชั้น L ไปชั้น K หรือ ชั้น M ไปชั้น K โดยคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานจำเพาะของแต่ละธาตุ (Fischer Worldwide, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.4 Atomic model for the X-Ray Fluorescence Analysis method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ที่มา: Fischer Worldwide, ม.ป.ป.) กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer)

เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer, AAS) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมในงานวิจัยหลายประเภท เช่น การนำมาวิเคราะห์ในทางการแพทย์ การวิเคราะห์ทางเกษตร การวิเคราะห์ทางโลหวิทยา การวิเคราะห์แร่และวัสดุต่าง ๆ เนื่องจากเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์สามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้มากกว่า 67 ธาตุ (ฐิติรัตน์ จารุวาระกุล, ม.ป.ป.) และผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความแม่นยำสูง ปัจจุบันเครื่อง AAS ได้รับการพัฒนาสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และยังมีประสิทธิภาพสูงอีกด้วย

2.5.1 หลักการทำงานของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy เป็นกระบวนการดูดกลืนอะตอมโดยอิสระ ซึ่งธาตุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนแสงที่มีคลื่นความยาวจำเพาะ ธาตุต่างชนิดกันจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน สเปกตรัมของอะตอมจะมีลักษณะเป็นเส้น เนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานในอะตอมมีการเปลี่ยนระดับพลังงานอิเล็กตรอน ทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดอะตอมอิสระได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น เมื่ออะตอมของธาตุที่วิเคราะห์ดูดกลืนพลังงานจะเปลี่ยนอะตอมอิสระให้อยู่ในสถานะของแก๊สหรือไอ และเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ทำให้ปริมาณแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดกระทบเครื่องวัดแสง (detector) ลดลง (ต้องชนะ, 2562)



รูปที่ 2.5 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
(ที่มา: AT Science, ม.ป.ป.)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปนเปื้อนโลหะสังกะสีในสิ่งแวดล้อมถือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เนื่องจากสังกะสีสามารถสะสมผ่านทางห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ อันส่งผลกระทบและก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ วิธีบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสังกะสีที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation) กระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่น (Membrane process) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) และกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon adsorption) เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการทั้งหมดแล้วจะพบว่ากระบวนการดูดซับเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ไม่ยุ่งยาก มีต้นทุนต่ำ และไม่ต้องใช้สารเคมีอันตราย อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือต้องใช้อุปกรณ์ที่แพงและต้องบำรุงรักษาเป็นประจำ

กระบวนการที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการกำจัดโลหะ เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปให้น้ำเสีย และสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้องได้ (พินิตา สามพรานไพบูลย์, 2556)

โรงไฟฟ้าขยะขอนแก่นใช้เทคโนโลยีแบบเผาตรงระบบปิด นำพลังงานความร้อนไปผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเผาไหม้ขยะประสิทธิภาพสูง ประกอบด้วย ระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศที่มีประสิทธิภาพ เป็นที่ยอมรับและใช้ในหลายประเทศ สามารถเผาขยะได้หลายชนิดพร้อมๆ กัน เช่น เศษไม้ กระดาษ พลาสติก ยาง ผ้า และ เศษอาหาร จากทั้งขยะเก่าและขยะใหม่ของเทศบาลนครขอนแก่น ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการเผาขยะมูลฝอยจะเป็นวิธีลดปริมาณของขยะมูลฝอยได้มากที่สุด แต่ยังคงมีเถ้าตกค้างเป็นปริมาณมาก ถ้าจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยชุมชนแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เถ้าหนัก (Bottom Ash) จะมีอนุภาคใหญ่ซึ่งออกมาจากระบบเผาไหม้ และถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำในช่องระบายเถ้า ถ้าจะถูกระบายสู่ออกพักเถ้า จากนั้นใช้ครั้นในการขนถ่ายสู่รถบรรทุกแล้วนำไปฝังกลบ อีกประเภทหนึ่ง คือ เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กจะถูกดักไว้ด้วยอุปกรณ์กรองฝุ่นชนิดถุง (Bag Filter) ก่อนปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ จากนั้นจะนำเถ้าลอยไปฝังกลบในหลุมฝังกลบ (วรวิทย์ โพธิ์จันทร์และคณะ, 2563)

กมลรัตน์ เกลี้ยงประดิษฐ์ (2563) ได้ทำการศึกษาการใช้เถ้าลอยในการกำจัดแคดเมียม โดยการใช้เถ้าลอยปริมาณ 1 กรัมต่อสารละลายแคดเมียมสังเคราะห์ 50 มิลลิกรัม และหาปริมาณแคดเมียมที่เหลือโดยใช้ dithizone method พบว่าค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 8.5 โดยเวลาที่ใช้เข้าสู่สมดุลประมาณ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยความเข้มข้นของแคดเมียมลดลงจาก 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 84.80 เป็นร้อยละ 89.82 และจากสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์สามารถอธิบายประสิทธิภาพการดูดซับได้ว่าค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด โดยเห็นได้การเปลี่ยนแปลงค่า pH 4 เป็น pH 8.5 ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11.85 เป็นร้อยละ 89.82 และพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับลดลงเมื่อ pH มีค่าเท่ากับ 10 (กมลรัตน์ เกลี้ยงประดิษฐ์, 2563)

วารารณ์ กิจชัยนุกูล (2556) ได้ทำการศึกษาการดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า ได้นำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์โดยใช้เถ้าลอยเป็นสารดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเถ้าลอยในการดูดซับปรอทที่ความเข้มข้นต่ำ ในน้ำสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสารปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ปฏิริยาการดูดซับของเถ้าลอยจะเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสม คือปริมาณเถ้าลอย 10 กรัมต่อสารละลายปรอท 1 ลิตร ที่ pH 7.0-8.0 เถ้าลอยดังกล่าวสามารถดูดซับสารละลายปรอทได้ 3.5 มิลลิกรัมต่อกรัมเถ้าลอย (น้ำหนักแห้ง) เมื่อนำเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับปรอทมาทดสอบหาค่าที่ถูกต้อง พบว่าปริมาณปรอทที่ถูกชะออกมาต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียที่ น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาแสดงว่าเถ้าลอยสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายปรอทความเข้มข้นต่ำในน้ำสังเคราะห์ได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิริยาการดูดซับคือเถ้าลอย 10 กรัมต่อลิตร สามารถกำจัดปรอทได้สูงสุดประมาณ 3.5 มิลลิกรัมปรอทต่อกรัมเถ้าลอย ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมงในสภาวะ pH มีค่าเท่ากับ 7.0 เมื่อนำเถ้าลอยที่ผ่าน กระบวนการดูดซับดังกล่าวไปทดสอบหาปริมาณปรอทที่ถูกชะ พบว่าปริมาณปรอทในน้ำชะมี 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำสกัดสำหรับเถ้าลอยเปียก และ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเถ้าลอยแห้ง โดยที่เกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายไทยกำหนดค่าการชะไว้ที่ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำสกัด (วารารณ์ กิจชัยนุกูล, 2556)

จริญญา สีละพัฒน์ (2564) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ เพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วนเถ้าลอยต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คือ 1 : 1 และ 1 : 4 และให้ความร้อนด้วยการเผาใน

เตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ความดัน 0.2 atm ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พบว่าการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1 : 4 พบว่าอัตราส่วนปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณถ่านที่เหมาะสมคือ 1 : 1 ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีลักษณะดังนี้ มีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 0.3 - 2.5 ไมโครเมตร ขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 0.8 ไมโครเมตร มีรูพรุน รูปทรง ไม่แน่นอน นำถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1 : 1 ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในระยะเวลาต่างๆ คือ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที พบว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ถึง 97.43% 97.47% และ 98.30% ตามลำดับ จากการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสี โดยนำถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม เป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1, 1.5 และ 2 กรัม สามารถดูดซับสีของสารละลายไอโอดีนได้ 86% 91% และ 94% ตามลำดับ (จริญญา สีละพัฒน์, 2564)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 วัสดุชุดขับ

3.1.1.1 เล้าหนักจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชน จังหวัดนนทบุรี

3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 Zinc (II) Chloride ($ZnCl_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 3.1.2.2 Sodium Chloride ($NaCl$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท KEMAUS ประเทศออสเตรเลีย
- 3.1.2.3 Hydrochloric acid (HCl) conc. เกรดวิเคราะห์ บริษัท VWR Chemicals ประเทศฝรั่งเศส
- 3.1.2.4 Sodium Hydroxide ($NaOH$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 3.2.1.5 Sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย
- 3.2.1.6 Iodine, resublimed crystal เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 3.2.1.7 Potassium iodide เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 3.2.1.8 Potassium iodate เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 3.2.1.9 Sodium carbonate เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 3.2.1.10 DI Water (Deionized water)
- 3.2.1.11 3.2.1.11 น้ำกลั่น (Distilled water)
- 3.2.1.12 3.2.1.12 น้ำแป้ง (Starch solution)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 อุปกรณ์

- 3.2.1.1 แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- 3.2.1.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น New Classic MF ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.1.3 ปีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.1.4 กรวยกรอง (Funnel)
- 3.2.1.5 กระบอกตวง (Cylinder)
- 3.2.1.6 กระดาษกรอง (Filter paper) ยี่ห้อ Whatman
- 3.2.1.7 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
- 3.2.1.8 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 3.2.1.9 บิเรตต์สีใส (Burette, PTFE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม 3.2.1.11 อีกฐานตั้งเหล็ก (Stand and base) อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.1.12 ปิเปตต์ (Pipette)
- 3.2.1.13 แกลลอนพลาสติก (Plastic gallon)

3.2.2 เครื่องมือ

- 3.2.2.1 X-ray Fluorescence Spectrometer (WDXRF) รุ่น ZSX Primus ยี่ห้อ Rigaku ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.2.2 Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น SU-8030 ยี่ห้อ HITACHI ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.2.3 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น PinAAcle 900 F ยี่ห้อ PerkinElmer ประเทศสิงคโปร์
- 3.2.2.4 pH meter รุ่น Five easy plus ยี่ห้อ Mettler Toledo heidolph ประเทศเยอรมนี
- 3.2.2.5 เครื่องกวนสาร (Hotplate Stirrer) รุ่น Hie-PLATE Silver 1 ประเทศสวีตเซอร์แลนด์
- 3.2.2.6 เตาอบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น UN55 ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมนี
- 3.2.2.7 เดซิเคเตอร์ (desiccator)

3.3 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเถ้าหนัก

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างให้แห้ง

นำตัวอย่างใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) หรือกล่องที่มีการบรรจุซิลิกาเจล (Silica gel) เพื่อลดความชื้นและลดการสะสมประจุของตัวอย่าง ก่อนที่จะนำตัวอย่างมาติดลงบนแท่นติดตัวอย่างต่อไป

3.3.2 การติดตัวอย่างบนแท่นติดตัวอย่าง

1. กรณีที่ตัวอย่างเป็นผง

สามารถนำไปติดบนแท่นติดตัวอย่างได้ โดยนำตัวอย่างที่เป็นผงกระจายให้สม่ำเสมอลงบนแท่นติดตัวอย่างที่มีเทปคาร์บอน เพื่อเพิ่มนำไฟฟ้าและใช้ที่เป่าลมเป่าผงส่วนเกินออก เพื่อป้องกันการปนเปื้อนภายในกล้องจุลทรรศน์

2. กรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร

ให้นำผงตัวอย่างที่เป็นสารแขวนลอยไปกระจายตัวในทำละลายที่เหมาะสม เช่น เมทานอล (Methanol) หรืออะซิโตน (Acetone) แล้วนำไปเขย่าในเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงและนำหลอดหยดดูดสารละลายมาหยดลงบนกระจกขนาดเล็กที่ไว้ให้แห้ง หรือนำใส่โถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วติดลงบนแท่นติดตัวอย่างต่อไป

3.3.3 การฉาบผิวตัวอย่าง

นำโลหะที่ใช้ในการฉาบผิว เช่น ทองคำ (Au) ที่มีขนาด Grain size เท่ากับ 5 – 10 นาโนเมตร หรือ แพลตตินัม (Pt) ที่มีขนาด Grain size เท่ากับ 2 – 3 นาโนเมตร มาเคลือบผิวตัวอย่าง ควรมีความหนาอยู่ที่ประมาณ 10 – 20 นาโนเมตร จากนั้นนำตัวอย่างเข้าศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดต่อไป

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

1. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง
2. นำตัวอย่างใส่โถดูดความชื้นพักไว้ประมาณ 30 นาที จนเย็น
3. อัดผงตัวอย่างเถ้าหนักเข้าตลับทดสอบ และนำเข้าเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

1. ชั่งน้ำหนักเถ้าหนักตัวอย่าง (Bottom ash) ประมาณ 0.5000 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนให้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีฝาปิด
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน เพื่อให้เถ้าหนักตัวอย่าง (Bottom ash) ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เปิดจุกและต้มในตู้ดูดควันให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซิลเฟอร้ออกจากผงถ่านตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ปิเปิดสารละลายไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วปิดจุกอย่างรวดเร็วแล้วเขย่าอย่างแรง ๆ เป็นเวลา 30 วินาที
4. กรองแยกเถ้าหนักตัวอย่าง (Bottom ash) จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรองอิมตัวด้วยสารละลาย จากนั้นปิเปิดสารละลายมา 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ใบใหม่เพื่อนำมาไทเทรต
5. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน
6. เติมน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้
7. ทำการทดลองซ้ำโดยเติมน้ำหนักเถ้าหนักตัวอย่าง (Bottom ash) ครั้งละ 0.5000 กรัม เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน

สูตรการคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีนได้จาก (C) แสดงในสมการ (3.1)

$$C = \frac{(N_2 - S)}{50} \quad (3.1)$$

สูตรการคำนวณปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของเถ้าหนักได้จาก X/M แสดงในสมการ (3.2)

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (2.2 \times B \times S)}{W} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	X / M	คือ	คำนวณปริมาตรไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกรัม)
	N_1	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
	N_2	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)
	A	คือ	น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายเริ่มต้น ($N_2 \times 12693.0$) (มิลลิกรัม)
	B	คือ	น้ำหนักของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ($N_1 \times 126.39$) (มิลลิกรัม)
	C	คือ	คำนวณความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)
	W	คือ	น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)
	S	คือ	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

3.6 หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสี

3.6.1 การสังเคราะห์น้ำเสียปนเปื้อนสังกะสี

1. ละลายเกลือ NaCl ปริมาณ 14.6075 กรัม ด้วย DI ปริมาตร 200 มิลลิลิตร
2. ละลาย $ZnCl_2$ ปริมาณ 1.0417 กรัม ใส่ในสารละลายเกลือ NaCl ที่เตรียมไว้ และปรับปริมาตรด้วย DI จนครบ 5,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร
3. วัด pH เริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

3.6.2 การศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อน้ำเสียและรอบการปั่นที่เหมาะสมต่อการดูดซับ

1. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมในขั้นตอน 3.6.1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ
2. เติมถ่านกัมมันต์ลงในปิกเกอร์น้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาณ 1 3 5 และ 10 กรัม ตามลำดับ
3. ปรับ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็น 4.5 ด้วยกรดไฮดรอกลอริก (HCl) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. นำแท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar) ใส่ในปิกเกอร์ที่มีถ่านกัมมันต์ และนำไปหมุนกวนด้วย Hotplate Stirrer ที่ความเร็วรอบ 100 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาทีอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายมากรองแยกตะกอนถ่านกัมมันต์ด้วยกระดาษกรอง
6. ทำการทดลองดังกล่าวซ้ำ อย่างน้อย 2 ครั้ง
7. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสังกะสีที่หลงเหลืออยู่ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสี ที่ความเข้มข้น 0.1 – 0.5 ppm และ นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ที่ความยาวคลื่น 213.86 นาโนเมตร เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน (Zn absorption calibration curve)
2. นำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ที่ความยาวคลื่น 213.86 นาโนเมตร (หากจำเป็นต้องมีการเจือจางตัวอย่าง จะทำการเจือจางด้วย DI)
3. นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับเพื่อแปรผลเป็นค่าความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

4.1.1 ลักษณะพื้นผิวของเถ้าหนัก

เมื่อนำเถ้าหนักไปศึกษาลักษณะสัณฐานและลักษณะพื้นผิวของเถ้าหนักด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 10,000 เท่า (รูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ) พบว่าเถ้าหนักมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน มีพื้นผิวขรุขระและมีรูพรุนในก้อนเถ้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งเถ้าที่มีรูพรุนมากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของโมเลกุลเพิ่มขึ้น (วุฒิกกร สายแก้ว, 2555)

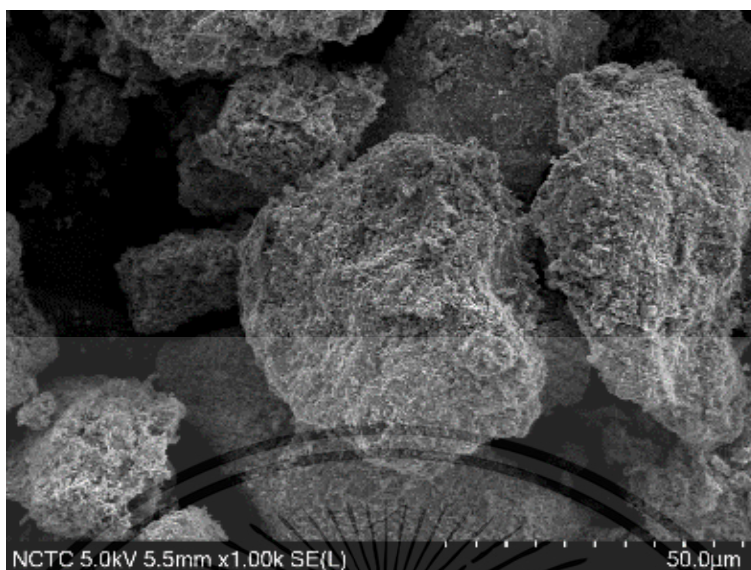
4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence Spectrometer (WD-XRF) พบว่า เถ้าหนักมีปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกา (SiO_2) คิดเป็นร้อยละ 39.84 โดยน้ำหนัก รองลงมา คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) คิดเป็นร้อยละ 15.90 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) คิดเป็นร้อยละ 13.36 เหล็ก(III)ออกไซด์ (Fe_2O_3) คิดเป็นร้อยละ 9.27 และสังกะสีออกไซด์ (ZnO) คิดเป็นร้อยละ 0.38 นอกจากนี้ยังพบธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย แสดงดังตารางที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าองค์ประกอบของเถ้าหนักมีความคล้ายคลึงกับเถ้าแกลบ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 92.1 รองลงมา คือ โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 1.53 และ 0.55 ตามลำดับ (วันทิตา ปาลีเอก วุฒิ, 2563) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่มีความใกล้เคียงกับซีโอไลต์ เอ (Zeolite A) จากเถ้าชานอ้อยในงานวิจัยของวาสนา สร้อยลา และคณะ (2566) ที่รายงานองค์ประกอบธาตุหลักของเถ้าชานอ้อย ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) และ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในอัตราส่วน 74.9 5.9 และ 5.0 % ตามลำดับ

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักด้วยเทคนิค WD-XRF แสดงปริมาณของโลหะหนัก เช่น โครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) ในระดับต่ำ เนื่องจากเถ้าหนักที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นเถ้าหนักจากการเผาไหม้ขยะชุมชนจึงมีการปนเปื้อนของโลหะหนักไม่มากนัก ดังนั้นเถ้าหนักชนิดนี้จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะสังกะสีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของถ่านกึ่งโพลีกราฟิตด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)
กำลังขยาย 5,000 เท่า



รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของถ่านกึ่งโพลีกราฟิตด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)
กำลังขยาย 10,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์เถ้าหนักด้วยเทคนิค WD-XRF

Component	Result (%mass)	Component (Org)	Result (%mass)
Na	0.5881	Na ₂ O	0.7927
Mg	0.8352	MgO	1.3849
Al	7.2193	Al ₂ O ₃	13.6406
Si	19.0181	SiO ₂	40.6858
P	0.9687	P ₂ O ₅	2.2197
S	1.2041	SO ₃	3.0065
Cl	2.0806		
K	1.8798	K ₂ O	2.2643
Ca	11.6018	CaO	16.2331
Ti	0.7161	TiO ₂	1.1944
Cr	0.0388	Cr ₂ O ₃	0.0567
Mn	0.126	MnO	0.1627
Fe	6.6241	Fe ₂ O ₃	9.4707
Ni	0.0143	NiO	0.0182
Cu	0.1793	CuO	2.2244
Zn	0.3121	ZnO	0.3885
Br	0.0044		
Rb	0.018	Rb ₂ O	0.0197
Sr	0.03	SrO	0.0367
Zr	0.0294	ZrO ₂	0.0398
Sn	0.0175	SnO ₂	0.0222
Ba	0.0727	BaO	0.0811
Pb	0.0671	PbO	0.0723
LOI	5.9	LOI	5.9

หมายเหตุ Loss on Ignition (LoI) คือ ปริมาณการสูญเสียหลังผ่านการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

4.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีไอโอดีนนัมเบอร์

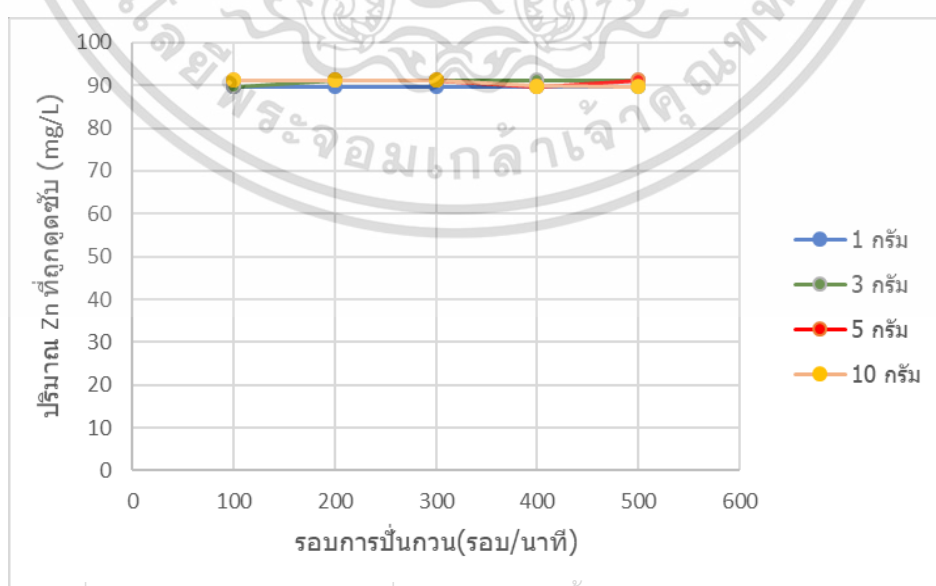
จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนอยู่ที่ 652.81 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์ ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับวัสดุดูดซับอื่น ๆ แล้วพบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์มีค่าน้อยกว่าวัสดุดูดซับบางชนิด เช่น ถ่านกัมมันต์จากฟางข้าว ที่มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนประมาณ 998 มิลลิกรัมต่อกรัม (เกศศิริ เหล่าวัชรสุวรรณ, 2551) หรือ ถ่านถั่วลอยจากขานอ้อยที่มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนประมาณ 655.68 มิลลิกรัมต่อกรัม (อรนิจ อุปรี, 2559) แต่มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 587 มิลลิกรัมต่อกรัม (อภิชาติ จินแพทย์, 2564)

ตารางที่ 4.2 การดูดซับไอโอดีนของวัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน

วัสดุดูดซับ	การดูดซับไอโอดีน (mg/g)	อ้างอิง
ถ่านถั่วลอยขานอ้อย	655.68	อรนิจ อุปรี (2559)
ถ่านกัมมันต์ฟางข้าว	998	เกศศิริ เหล่าวัชรสุวรรณ (2551)
ถ่านกัมมันต์โรงไฟฟ้าพลังงานขยะ	652.81	งานวิจัยนี้
ถ่านกัมมันต์กากกาแฟ	587	อภิชาติ จินแพทย์ (2564)

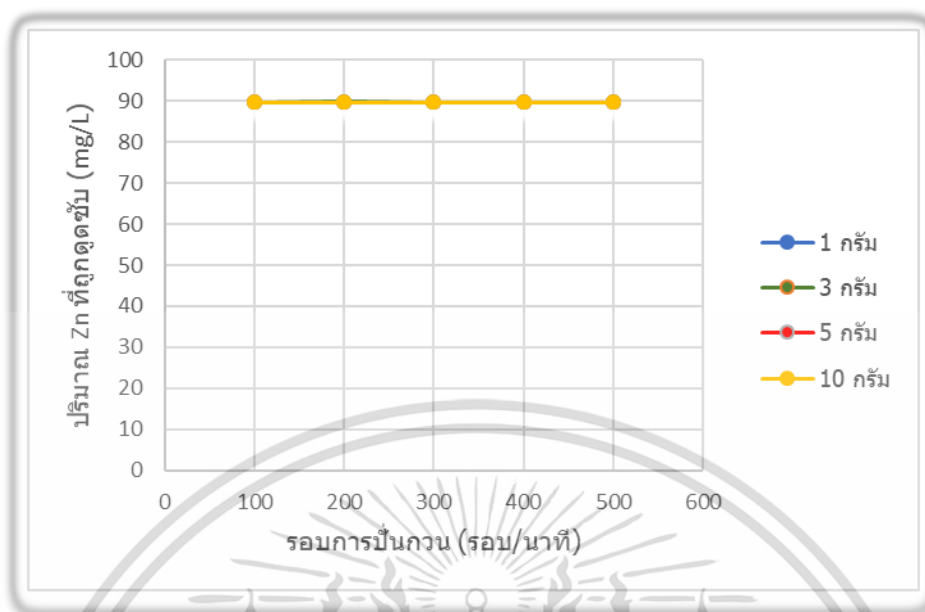
4.2.2 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสังกะสี

จากการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้นประมาณ 100 ppm โดยการใส่ถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1 3 5 และ 10 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร และรอบความเร็วการปั่นกวน 100 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาที ทั้งหมด 2 ชุดการทดลอง ได้ผลการดูดซับสังกะสีดังแสดงในรูปที่ 4.3 – 4.6 (และ รูปที่ 10-11 ภาคผนวก จ)

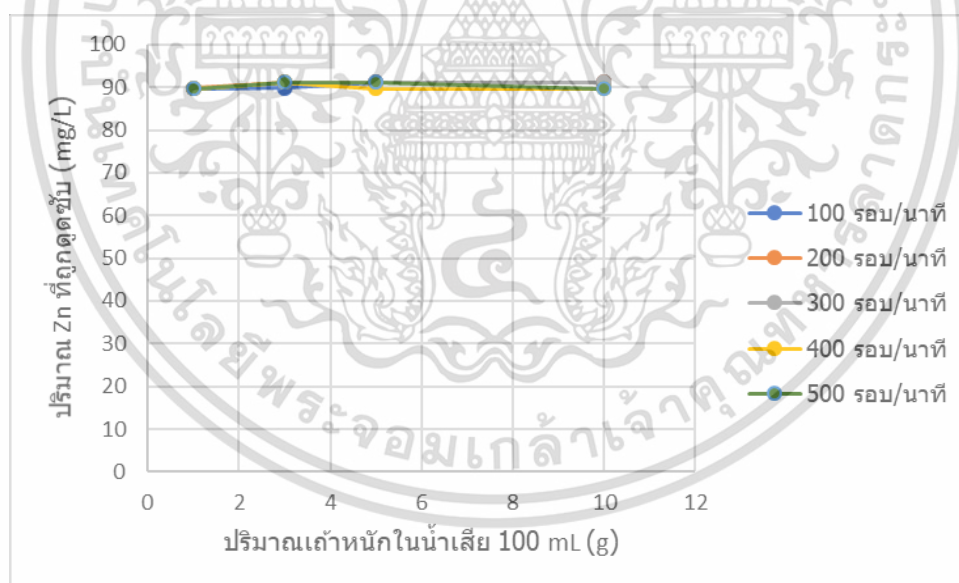


รูปที่ 4.3 การดูดซับสังกะสีของถ่านกัมมันต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการปั่นกวน ครั้งที่ 1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

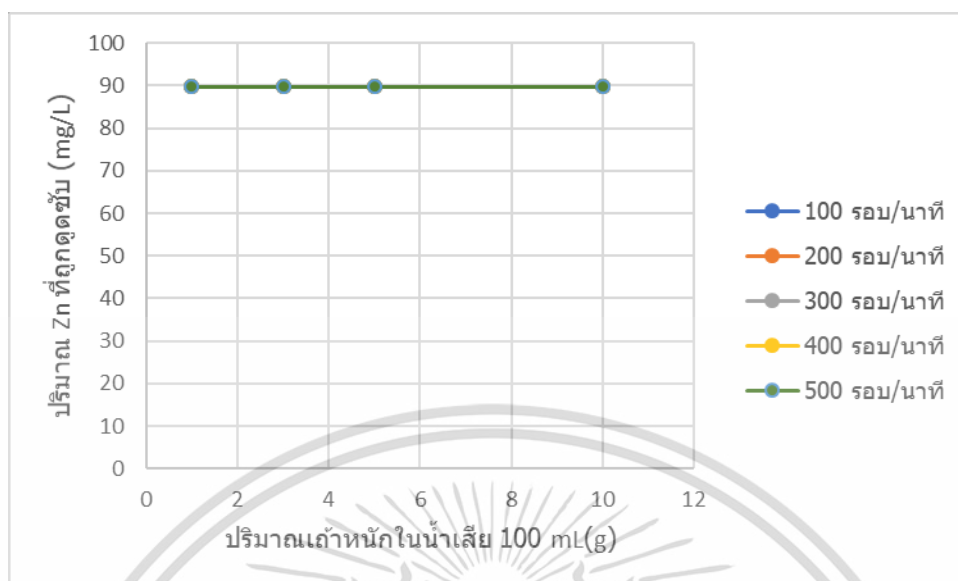


รูปที่ 4.4 การดูดซับสังกะสีของเถ้าหนักเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการปั่นกวน ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.5 การดูดซับสังกะสีของเถ้าหนักเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเถ้าหนักต่อน้ำเสีย ครั้งที่ 1

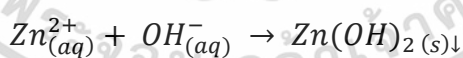
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การดูดซับสังกะสีของเถ้าหนักเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเถ้าหนักต่อน้ำเสีย ครั้งที่ 2

จากการทดลองพบว่า การดูดซับสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้ในทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ ดังนั้น การใช้อัตราส่วนของเถ้าหนัก 1 กรัมต่อน้ำเสียปนเปื้อนปริมาตร 100 มิลลิลิตร และปั่นด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที จึงมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เถ้าหนักเพื่อการดูดซับสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุด

อย่างไรก็ตาม ผลการดูดซับสังกะสีของเถ้าหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในครั้งนี้อาจเกิดความปลอดภัยเนื่องจากการเติมเถ้าหนักลงไปน้ำเสียสังเคราะห์ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพกรดต่าง (pH) ของสารละลาย จาก pH ที่ 4.5 ไปยัง 10 ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะสังกะสีในรูปของสังกะสีไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) ขึ้นด้วย ตามสมการ (3.3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เจ้าหน้าที่เป็นของเสียจากการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะชุมชนที่จำเป็นต้องมีการจัดการ การวิจัยนี้ได้นำเจ้าหน้าที่ที่เป็นของเหลือจากกระบวนการเผาไหม้จากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมาเป็นวัสดุดูดซับในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณสังกะสีปนเปื้อนอยู่ในใกล้เคียงกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของเจ้าหน้าที่ การดูดซับไอโอดีน และนำเจ้าหน้าที่มาวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับสังกะสี ได้แก่ อัตราส่วนของเจ้าหน้าที่ต่อน้ำเสีย (bottom ash-to-wastewater ratio) และรอบการปั่นกว (rotational speed) ผลการศึกษาพบว่าเจ้าหน้าที่มีขนาดที่แตกต่างกัน มีพื้นผิวขรุขระและมีรูพรุนในก้อนเจ้าจำนวนมาก องค์ประกอบหลักทางเคมีของเจ้าหน้าที่ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) คิดเป็นร้อยละ 39.84 15.90 และ 13.36 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีปริมาณโลหะหนักน้อย ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของเจ้าหน้าที่อยู่ที่ 652.81 มิลลิกรัมต่อกรัม และอัตราส่วนเจ้าหน้าที่ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนสังกะสีที่เหมาะสม คือ 1 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร และรอบการปั่นกวที่เหมาะสม คือ 100 รอบต่อนาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์ เพื่อทราบถึงกลไกการดูดซับซึ่งเป็นการถ่ายโอนมวลสารระหว่างสารถูกดูดซับและวัสดุดูดซับ
2. ควรคำนึงถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนนอกเหนือจากโลหะหนักในสารตัวอย่าง เช่น น้ำกลั่น และอุปกรณ์ในการทดลอง
3. ควรทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ก่อนทำการวิเคราะห์ทุกครั้ง
4. การใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ควรอ่านวิธีการใช้เครื่องให้เข้าใจเพื่อความถูกต้องแม่นยำและความปลอดภัยของผู้วิจัย
5. ควรนำเจ้าหน้าที่ผ่านกระบวนการดูดซับไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอีกครั้ง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของเจ้าหน้าที่
6. ควรควบคุม pH เพื่อดูผลของ pH ต่อการดูดซับสังกะสีของเจ้าหน้าที่ด้วย เนื่องจากน้ำเสียที่ออกจากโรงงานอาจมีความเป็นกรดต่างที่ไม่คงที่ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับสังกะสีบนผิวของเจ้าหน้าที่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- Karima Elkarrach et al. (2023). Treatment of tannery effluent by adsorption onto fly ash released from thermal power stations: Characterisation, optimization, kinetics, and isotherms. Laboratory of Electrochemistry Engineering, Modeling and Environment. Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, University of Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fez, Morocco.
- L.L. Sutter, D.P. Bentz. (2017). Assessing ash quality and performance. Michigan Technological University, Houghton, MI, United States, NIST, Gaithersburg, MD, United States.
- MGR Online. (2560). ด้านมืด ของถ่านหิน. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 กันยายน 2566, สืบค้นจาก: <https://mgronline.com/goodhealth/detail/9600000016996>.
- Pongsagon Pothavorn. (2019). ภาวะพิษจากโลหะหนัก. สืบค้นวันที่ 11 กันยายน 2566, สืบค้นจาก: <https://www.scispec.co.th/learning/index.php/blog/elemental/2019-03-26-02-47-01>
- siamchemi. (ม.ป.ป.). สังกะสี. สืบค้นวันที่ 13 กันยายน 2566 ,สืบค้นจาก : <https://www.siamchemi.com/สังกะสี/>.
- กมลรัตน์ เกลี้ยงประดิษฐ์. (2563). การบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล. ระดับปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- กรมควบคุมมลพิษ. เรื่องค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน (สืบค้นเมื่อ 13 กันยายน 2566). (2561). สืบค้นจาก: <https://www.assist-impact.net/th/articles>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 (สืบค้นเมื่อ 13 กันยายน 2566). (2560). สืบค้นจาก: http://reg3.diw.go.th /diw_info/wp-content/uploads/m.94-9.pdf
- เจนณรงค์ จันทร์ยัง และคณะ, “ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงขยะ”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ 28 (พฤษภาคม 2023).
- เทคโนโลยีรีไซเคิลถ่านลอยจากโรงไฟฟ้า (Fly Ash) ด้วยการผลิตเป็นโลหะโฟม (Metal Foam). (2556). สืบค้นวันที่ 15 กันยายน 2566, สืบค้นจาก: <http://www5.dpim.go.th/wpcontent/uploads/2018/02/fly-ash-foam-PDF.pdf>.
- ทวิช กล้าแท้และคณะ, “คอนกรีตกำลังสูงที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดปริมาณสูงร่วมกับผงแคลเซียมคาร์บอเนต”, วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 15. (ตุลาคม 2564).
- นพปฎล เสี่ยงศักดิ์ และคณะ, “พฤติกรรมกรดดูดซับตะกั่วด้วยเถ้าชีวมวล”, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 30 (เมษายน-มิถุนายน 2562).
- ดลฤดี โตเย็น.(2563).การเตรียมตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. สืบค้นวันที่ 18 พฤศจิกายน 2566, สืบค้นจาก : https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2563/material_prep.pdf.
- พนิดา สามพรานไพบูลย์ และคณะ. (2557). การดูดซับสังกะสีไอออนออกจากน้ำทิ้งจากการชุบโลหะด้วยเยื่อกระดาษ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พรพิมล เชื้อดวงผุย. (2555). ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจ บางชนิด บริเวณแหล่งทำการประมง อำเภอละงู จังหวัด สตูล . มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิกิภาษาไทย.(ม.ป.ป.). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. สืบค้นวันที่ 17 พฤศจิกายน 2566 สืบค้นจาก : https://hmong.in.th/wiki/Scanning_electron_microscope.
- วันทิศา ปาลีเอกวุฒ. (2563).การดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมด้วยถ้ำกลบ.คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- วุฒิกกร สายแก้ว. (2555). การดูดซับโลหะหนักบางชนิดด้วยวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- วีรานุช หลาง และคณะ. (2009). แบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ของการดูดซับและการคายสารอนิลีนฟีนอลด้วยเส้นใยไรโซวิตที่เจริญและถูกตรึงในเม็ดโคโคโตซาน. คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรวิทย์ โพธิ์จันทร์และคณะ, “การใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าขยะในการปรับปรุงกำลังอัดของดินเหนียว”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 30 (กันยายน 2563).
- วรภรณ์ กิจชัยนุกูล, “การดูดซับปรอทในน้ำ สังกะสีด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า”, วารสารผลงานวิชาการ (สิงหาคม 2013).
- วาสนา สร้อยลาและคณะ, “การสังเคราะห์ซีโอไลต์ เอ จากเถ้าชานอ้อยโรงงานน้ำตาล สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดตะกั่ว (II) ไอออน”,วารสารการประชุมระดับชาติ มอบ.วิจัย 17.(กรกฎาคม 2566).
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 13 (ชลบุรี). ปรอท ตะกั่ว สารหนูโลหะหนักภัยใกล้ตัว. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2566, สืบค้นจาก:<https://reo13.mnre.go.th/th/news/detail/9498>.
- สุนันทา ช้องสาย. (2561). การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ จากการผลิตไบโอมานาสุบ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์ และคณะ. (ม.ป.ป.). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้.
- ศักดิ์ดา หล้าใจ และ พิทยา แจ่มสว่าง, “การประยุกต์ใช้เถ้าหินเป็นวัสดุในงานทาง”, 27 สิงหาคม 2565.
- ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ. (2557). ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทุ่นบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90 °E. หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อัญรินทร์ พิธาภักดีสถิตย์. (2559).การดูดซับธาตุอาหารจากน้ำคลองด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์:กรณีศึกษาคลองชวดหมัน จังหวัดสมุทรปราการ. ปรัชญาอุษฎฐ์บัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อภิชาติ จินแพทย์ และเอี่ยมพร รัตนสิงห์. (2021). การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทางการทหาร โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และภาควิชาเคมี ฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช.
- เอกชัย เรื่องดำ, “สังกะสี”, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 56. (พฤษภาคม 2560).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นกรดและด่าง	5.5 – 9.0	pH meter
ค่าทีดีเอส (TDS หรือ total dissolved solids)	ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีความมากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เวลา 1 ชั่วโมง
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituri
น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง แล้วแยกหาน้ำหนักประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการ	สกัดด้วยตัวทำละลายของน้ำมันและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ควบคุมมลพิษเห็นสมควร
 แต่ไม่เกิน 15 มก./ล.
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอล์มาดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
สารประกอบ ฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4- Aminoantipyrine
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
สารที่ใช้ป้องกัน หรือกำจัดศัตรูพืช หรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบ ที่กำหนด	Gas-Chromatography
ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 °C) (Biochemical Oxygen Demand:BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่าง แล้วแต่ประเภทที่ของแหล่ง รองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของ โรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modificatio ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจ แตกต่างแล้วแต่ประเภท ของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
ค่าซีไอ (Chemical Oxygen Demand:COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจ แตกต่างแล้วแต่ประเภท ของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
โลหะหนัก (Heavy metal)		
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล	
โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด
โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	Direct Aspiration หรือ Plasma Emission
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	ไม่อนุญาตให้ Spectroscopy ชนิด
แคดเมียม (Cd.)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล	การค่า

เอกสารนี้เป็นของแดง (Cu) ไว้สำหรับการใช้งาน ไม่เกิน 2.0 มก./ล. นั้น ไม่อนุญาตให้ Spectroscopy ชนิด การค่า
ไม่ว่าการแคดเมียม (Cd.) ห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Inductively Coupled Plasma : ICP
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
เซลีนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	
ชนิด Hydride Generation		
ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour Technique

ที่มา : Impact (2561)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

1. การเตรียมถ้ำ

1. อบถ้ำตัวอย่างที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. นำไปพักให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนสังกะสี ปริมาตร 5 ลิตร

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 14.6075 กรัม และซิงค์ (Zn) 1.0417 กรัม
2. นำโซเดียมคลอไรด์และซิงค์ มาละลายในน้ำกลั่น
3. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 5,000 มิลลิลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ปริมาณ 500 มิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้นมา 67.57 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 200 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 500 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายไอโอดีน (I₂) ความเข้มข้น 0.1000 นอร์มอล ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร

ชั่งไอโอดีน 12.70 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็น ของแข็ง เติมน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อยแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป คนสารละลาย ตลอดเวลาเป็นอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าไอโอดีนละลายหมดปรับด้วยน้ำกลั่นให้จนครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วจึงเทสารลงในขวดสีชา

1.3 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃·5H₂O) ความเข้มข้น 0.1000 นอร์มอล ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร

ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟตหนัก 24.82 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่เดือดปริมาตร 75 มิลลิลิตร คนให้ สารละลาย (เติมโซเดียมคาร์บอเนต ประมาณ 0.10 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วจึงเทสารลงในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วันก่อนนำมาใช้

1.4 สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO₃) ความเข้มข้น 0.1000 นอร์มอล ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร

อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมา เก็บในโถดูดความชื้น แล้วชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วปรับ ด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดสีชา

1.5 สารละลายน้ำแป้ง

ชั่งแป้ง 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา จากนั้นเทสารลงในน้ำกลั่นที่ต้ม เดือด ใหม่ๆ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีก 4-5 นาที จนสารละลายใส ตั้งทิ้งไว้เย็นแล้วเก็บใส่ขวด (น้ำแป้ง ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการศึกษาทดลอง)

2. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

2.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1. ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวด รูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร
2. เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 2.0 กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยปริมาตร ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ลงไปในขวดรูปชมพู่เขย่าให้ เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมน้ำแบ่งลงไป 2 – 3 หยด จากนั้นไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี (ไทเทรตควรทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
5. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์

สูตรคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$N_1 = \frac{P_1 \times R}{S}$$

เมื่อ	N_1	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
	P_1	คือ	ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)
	R	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)
	S	คือ	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

2.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

1. ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร
 2. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั่ง สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2 – 3 หยด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี (การไทเทรตควรทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย) บันทึกปริมาตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
 3. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน
- สูตรคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

$$N_2 = \frac{(S \times N_1)}{I}$$

เมื่อ	N_1	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)
	S	คือ	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)
	N_2	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
	I	คือ	ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน

1. ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

ปริมาตร KIO_3	ความเข้มข้น KIO_3	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้
mL	N	mL
25	0.1	24.8
25	0.1	24.7
25	0.1	24.5
ค่าเฉลี่ย		24.67
ความเข้มข้นที่แน่นอน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		0.10

2. ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน (I_2)

ปริมาตร I_2	ความเข้มข้น $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้
mL	N	mL
25	0.101	21.2
25	0.101	21.6
25	0.101	21.3
ค่าเฉลี่ย		21.366
ความเข้มข้นที่แน่นอน I_2		0.087

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

	ปริมาตร I ₂	ความเข้มข้น Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O ที่ใช้
	mL	N	mL
รอบที่1	20	0.101	14.3
	20	0.101	12.3
	20	0.101	13.7
ค่าเฉลี่ย			13.433
ค่าการดูดซับไอโอดีน			0.0681
รอบที่2	20	0.101	12.7
	20	0.101	12.4
	20	0.101	12.6
ค่าเฉลี่ย			12.567
ค่าการดูดซับไอโอดีน			0.0637
รอบที่ 3	20	0.101	12.5
	20	0.101	12.4
	20	0.101	12.5
ค่าเฉลี่ย			12.467
ค่าการดูดซับไอโอดีน			0.0632
ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีน			0.0650

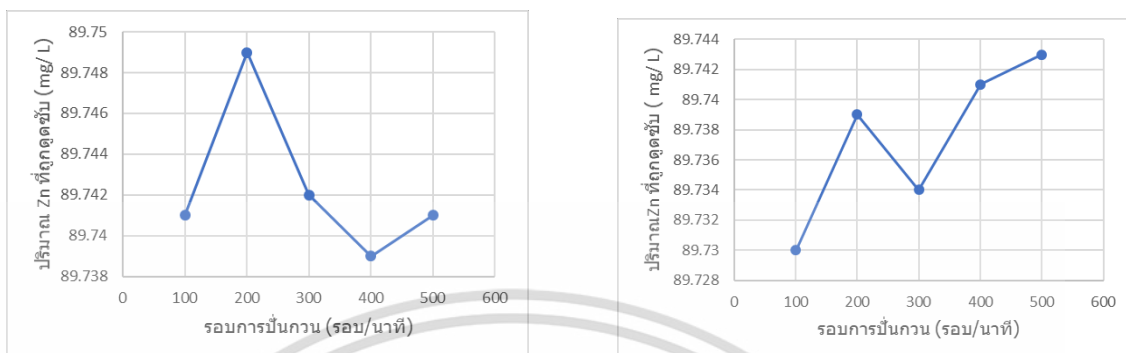
4. การหาปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง

	น้ำหนัก I ₂ ทั้งหมด ในสารละลาย เริ่มต้น	น้ำหนัก I ₂ ที่ทำปฏิกิริยา สมมูลพอดีกับNa ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O 1 มิลลิลิตร	น้ำหนักของ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้	ปริมาตร I ₂ ที่ถูกดูดซับ ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง
	mg	mg	g	mg/g
รอบที่1	1099.49	12.81	0.502	344.910
รอบที่2	1099.49	12.81	1.007	747.907
รอบที่3	1099.49	12.81	1.502	865.611
			ค่าเฉลี่ย	652.809

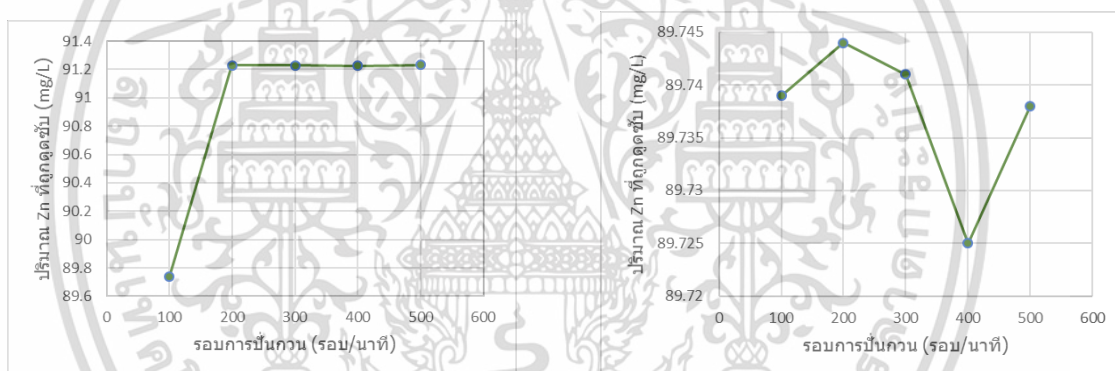
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสี

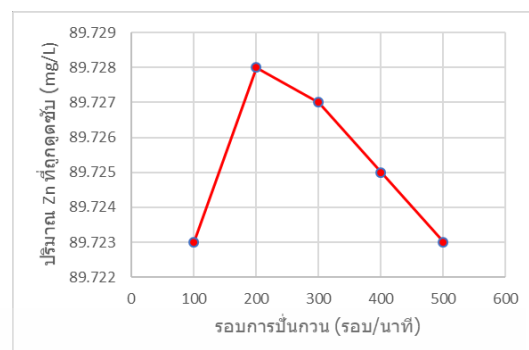
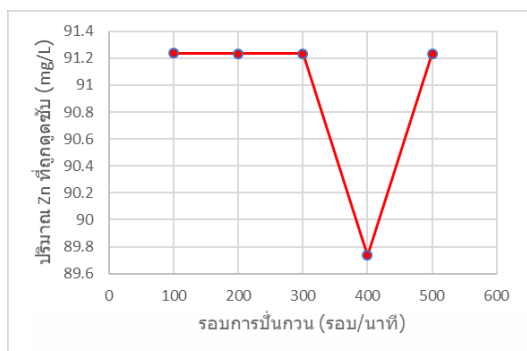


ภาพที่ 1 การดูดซับสังกะสีของถ้ำหนัก 1 กรัมต่อรอบการปั่นกวน 100 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาที (ข้าว: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)



ภาพที่ 2 การดูดซับสังกะสีของถ้ำหนัก 3 กรัมต่อรอบการปั่นกวน 100 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาที (ข้าว: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

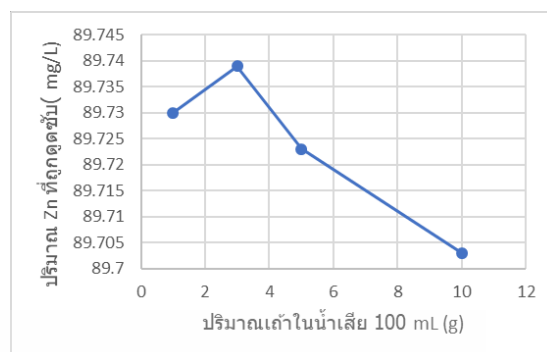
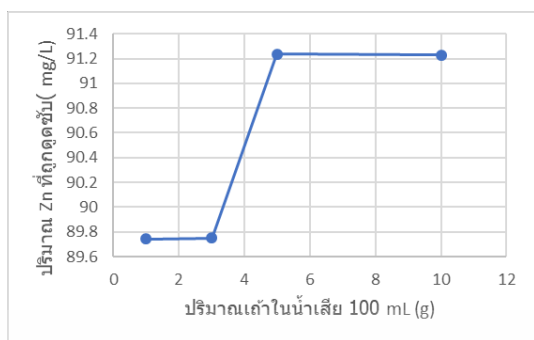


ภาพที่ 3 การดูดซับสังกะสีของเถ้านัก 5 กรัมต่อรอบการป่นกวน 100 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาที (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

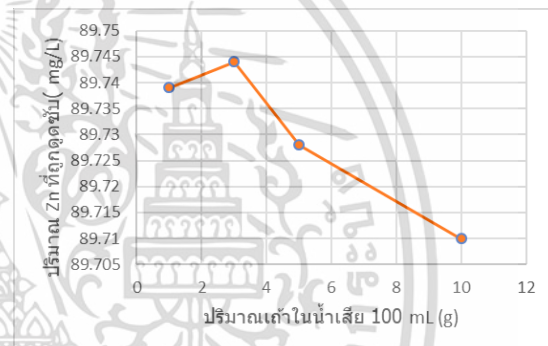
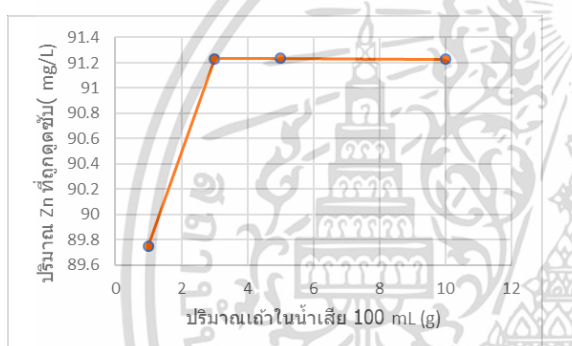


ภาพที่ 4 การดูดซับสังกะสีของเถ้านัก 10 กรัมต่อรอบการป่นกวน 100 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาที (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

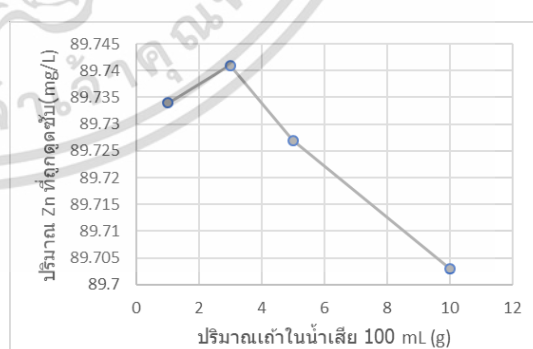
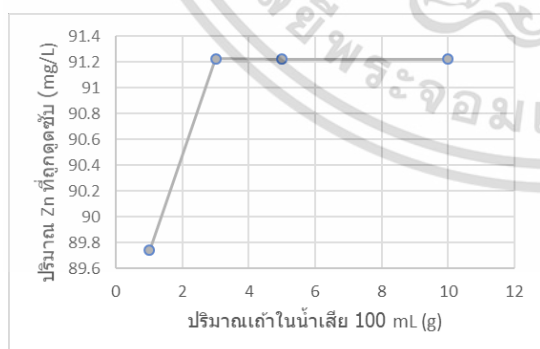
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 การดูดซับสังกะสีของเถ้านักที่รอบการปั่นกว 100 รอบต่อนาที ที่ปริมาณเถ้า 1 3 5 และ 10 กรัม (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

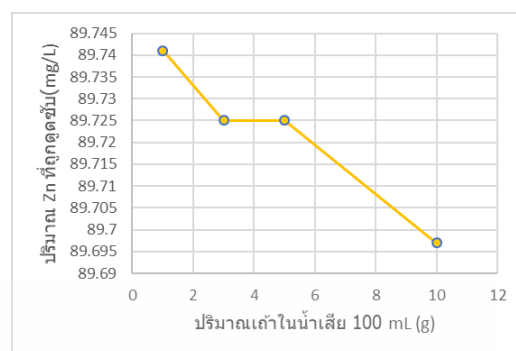
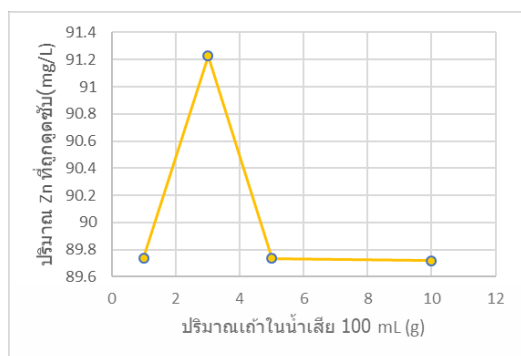


ภาพที่ 6 การดูดซับสังกะสีของเถ้านักที่รอบการปั่นกว 200 รอบต่อนาที ที่ปริมาณเถ้า 1 3 5 และ 10 กรัม (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

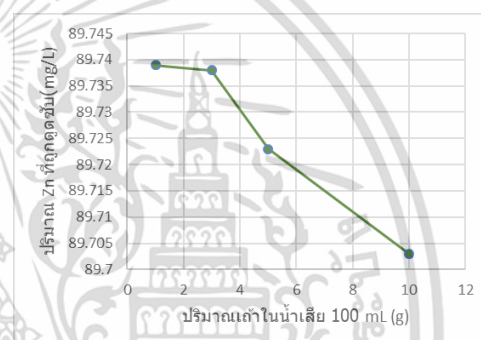
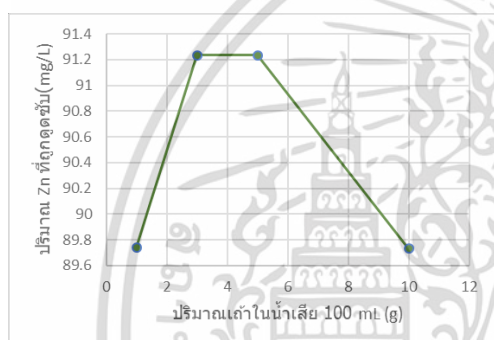


ภาพที่ 7 การดูดซับสังกะสีของเถ้านักที่รอบการปั่นกว 300 รอบต่อนาที ที่ปริมาณเถ้า 1 3 5 และ 10 กรัม (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

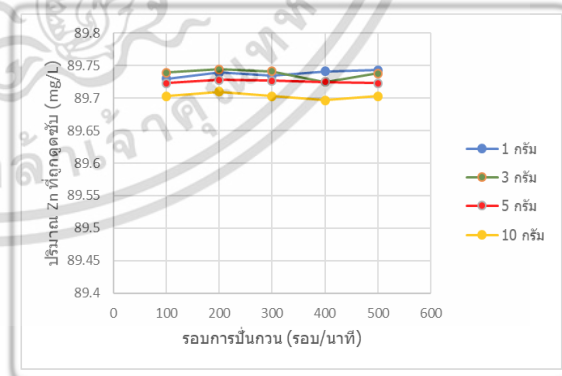
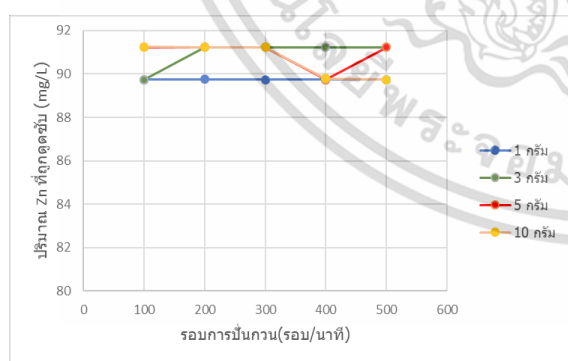
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 การดูดซับสังกะสีของถ้ำหนักที่รอบการปั่นกวน 400 รอบต่อนาที ที่ปริมาณธาตุ 1 3 5 และ 10 กรัม (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

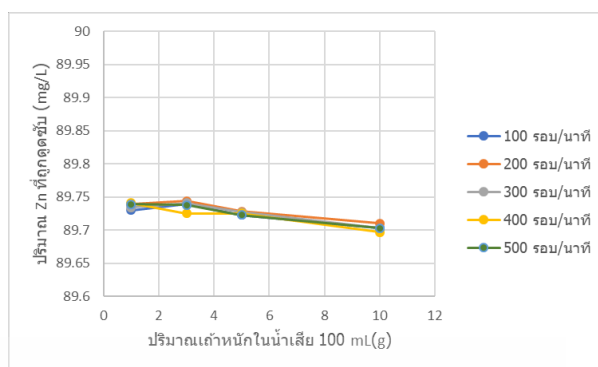
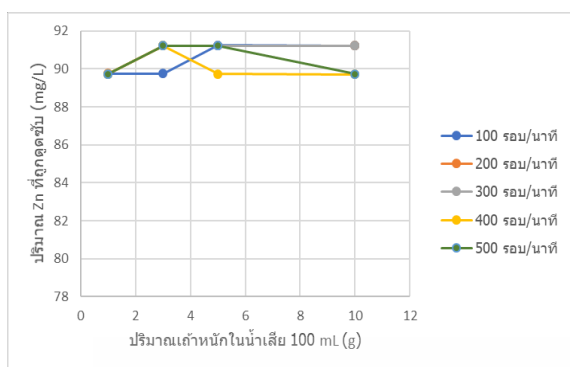


ภาพที่ 9 การดูดซับสังกะสีของถ้ำหนักที่รอบการปั่นกวน 500 รอบต่อนาที ที่ปริมาณธาตุ 1 3 5 และ 10 กรัม (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)



ภาพที่ 10 การดูดซับสังกะสีของถ้ำหนักเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการปั่นกวน (ซ้าย: ครั้งที่ 1, ขวา: ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 การดูดซับสังกะสีของเส้นเอ็นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเส้นเอ็นต่อปัสสาวะ
(ชาย: ครั้งที่ 1, ขาว: ครั้งที่ 2)

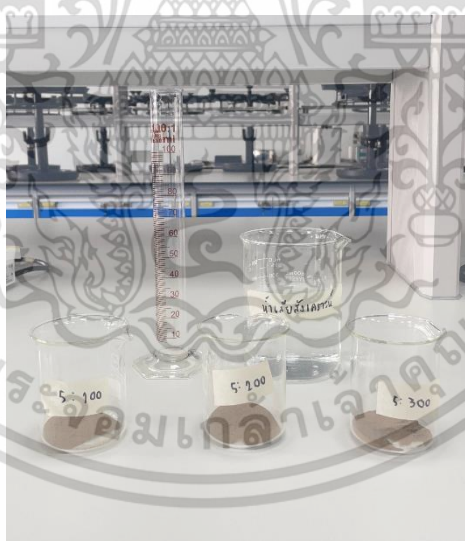


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ รูปภาพการทดลอง



ภาพที่ 1 นำน้ำเสียปนเปื้อนสังกะสีสังเคราะห์ไปปรับ pH



ภาพที่ 2 นำเอ้าหนักไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

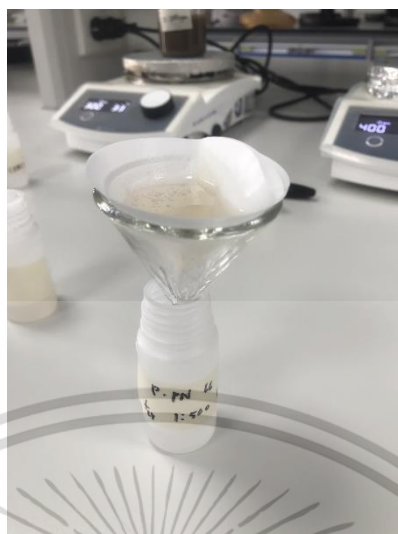


ภาพที่ 3 นำเข้าหนักไปปั่นจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 เข้าหนักหลังปั่นจนทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 นำเอ้าหนักที่ปั่นจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงไปกรอง



ภาพที่ 6 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 8 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

ข้าพเจ้า นางสาว ธัญญา ประทีน รหัสประจำตัว 63050305

นางสาวนุชนารถ กลุ่มความสุข รหัสประจำตัว 63050330

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมี ภาควิชา เคมีสิ่งแวดล้อม ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การดูดซับสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชุมชน

ชื่อภาษาอังกฤษ Adsorption of Zinc (Zn) Contaminated in Electronic Industrial Wastewater using Waste Incinerator Bottom Ash from a Municipal Solid Waste-to-energy Power Plant

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้นำเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษราวิสุทธิ 8.99 % หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ.....**ธัญญา**.....

(**ธัญญา ประทีน**)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....**หุชนารถ**.....

(**หุชนารถ กลุ่มความสุข**)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ดร. ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ และ ดร.ปรารค์ทิพย์ ฤทธิโชคติ แก๊งเพ็งกรอ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ ของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

เอกสารนี้เป็น ลงชื่อ.....**ปิยาภรณ์ ศรีเจริญเวช**.....เพื่อการศึกษา ลงชื่อ.....**ปรารค์ทิพย์ ฤทธิโชคติ**.....
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอให้นักศึกษาให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม