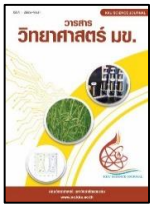
KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากเครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้า

The Quantity of Heavy Metals in Wastewater from Wire Electrical Discharge Machining

ณัฏฐ์วรินท์ ธุวะคำ[1*] สมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ[1] และ สาวิตรี กาทองทุ่ง[1]

Nutwarin Thuwakham[1*], Samuch Taweekasemsombut[1] and Sawitree Kathongthung[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[1]Department of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำเสียจากกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าด้วยเครื่อง Wire electrical discharge machining (WEDM) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของระบบก่อนและหลังกรอง อย่างละ 1,000 ml สำหรับวิเคราะห์โลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปรอท และสังกะสี ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) โดยทำการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำเสียมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ไม่พบแคดเมียมในตัวอย่างน้ำเสียของระบบก่อนและหลังกรอง แต่พบการปนเปื้อนของทองแดง ตะกั่ว และปรอท โดยก่อนการกรองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.52 ± 0.06 <0.001 <0.001 mg/l และหลังการกรองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 ± 0.04 <0.001 0.0011 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ส่วนปริมาณสังกะสีที่ตรวจพบในน้ำเสียตัวอย่างก่อนและหลังการกรองมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด (5.0 mg/l) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.72 ± 0.01 และ 6.51 ± 0.03 mg/l ตามลำดับ ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมโลหะที่มีการใช้เครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้าควรมีการกำจัดสารโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำอย่างถูกวิธี โดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมี หรือวิธีการทางไฟฟ้าเคมีซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสังกะสีที่ปนเปื้อนในน้ำก่อนที่จะปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the contamination of heavy metals in wire cutting process by Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) wastewater. The wastewater before and after filtration were sampling by 1,000 milliliters. Cadmium, copper, lead, mercury and zinc were determined by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) in 5 replicates. The mean and standard deviation of the heavy metal concentration detected in the wastewater samples were then evaluated. The results demonstrated that the wastewater samples taken before and after the filter were not contaminated with cadmium.

*Corresponding Author, E-mail: nutwarin.p@hotmail.com

Received: date: 16 February 2023 | Revised date: 11 May 2023 | Accepted date: 16 May 2023

However, the wastewater was determined to be slightly contaminated with copper, lead, and mercury. The mean values before filtration were 0.52 ± 0.06, <0.001, <0.001 mg/l and after filtration were 0.40 ± 0.04, <0. 001, 0. 0011 mg/ l, respectively, which did not exceed the standard of the Ministry of Industry's declaration, factory effluent from B.E. 2560. The quantity of zinc found in wastewater samples before and after filtering was greater than the prescribed level (5.0 mg/l), with mean values of 6.72 ± 0.01 and 6.51 ± 0. 03 mg/ l, respectively. Therefore, the usage of WEDM in the metal industry, the wastewater should be removed and disposed of any heavy metal pollutants using the highly effective methods of chemical precipitation and electrochemistry to eliminate contaminated zinc from water before releasing into the environment further.

คำสำคัญ: เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด น้ำเสีย โลหะหนัก
Keywords: Wire-cut, Wastewater, Heavy Metal

บทนำ

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะในงานอุตสาหกรรมเพื่อแปรรูปโลหะต่างๆ นั้น อาศัยกระบวนการการตัดโลหะโดยเครื่อง Wire electrical discharge machining (WEDM) หรือเรียกว่ากระบวนการ Wire - cut เป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพื่อทำการผลิตชิ้นงานตามรูปทรงตามที่ต้องการ ได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำ การใช้เครื่อง WEDM ต้องใช้เส้นลวดในการตัดเฉือนชิ้นส่วนโลหะ จะทำมาจากวัสดุที่มีความสามารถการนำไฟฟ้าสูง เช่น ทองแดง ทองเหลือง โมลิบดินัม ทังสเตน เป็นต้น โดยลวดแต่ละชนิดจะมีค่าทนแรงดึง (tensile strength) ที่แตกต่างกัน (บริษัท ไทพ์วัน ซัพพลาย จำกัด, 2555)

ปัจจุบันลวดทองเหลืองเป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะราคาถูกกว่าลวดชนิดอื่น หลักการของเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดเป็นเครื่องจักรที่อาศัยแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโทรด คือ เส้นลวดทำให้เกิดการสปาร์ค (spark) ระหว่างชิ้นงานกับเส้นลวด โดยอำนาจการสปาร์คนั้นมีมากเพียงพอที่จะหลอมละลายผิวของชิ้นงานออกไปได้ ลวดอิเล็กโทรดจะถูกเคลื่อนที่เข้าสู่ชิ้นงานตามทิศทางของโปรแกรม ในทำนองเดียวกันแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายให้กับเส้นลวดและชิ้นงาน ในขณะที่สารหล่อเย็นที่มีความต้านทานสูงถูกฉีดรอบๆ เส้นลวด เพื่อให้เกิดการสปาร์คผ่านสารหล่อเย็น การสปาร์คจะเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดถูกนำเข้าชิ้นงานได้ในระยะแก๊ป (gap) เมื่อการสปาร์คเกิดขึ้นจะเกิดความร้อนขึ้น ในเวลาเดียวกันสารหล่อเย็นที่ถูกฉีดรอบๆ เส้นลวดจะถูกทำให้ร้อนและระเหยตัวอย่างรวดเร็ว เหตุการณ์นี้จะเหมือนกับการระเบิดตัวของน้ำและแรงระเบิดตัวของน้ำที่มีผลทำให้โลหะที่หลอมละลายแตกตัวเป็นผงเล็กๆ และถูกนำออกไปโดยสารหล่อเย็น จุดที่เกิดการสปาร์คนั้นจะถูกทำให้เย็นตัวลงอีกครั้ง กระบวนการตัดโลหะด้วยเส้นลวดเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวดเพื่อตัดชิ้นงาน ความร้อนของไฟฟ้าในแต่ละการเกิดสปาร์คจะเกิดความร้อนขึ้นระหว่าง 800 - 2,000 ºC วัสดุกลายไปเป็นไอออนและแยกออกจากวัสดุหลัก อนุภาคที่เกิดขึ้น (เศษโลหะ) จะถูกล้างออกไปโดยระบบทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ จากหัวฉีดล้างด้านบนและด้านล่าง ซึ่งน้ำกลั่นนอกจากยังจะช่วยทำให้ชิ้นงานเย็นตัวลงและยังช่วยป้องกันความร้อนสะสมที่จะเกิดขึ้น (Tool engineer, 2554)

เครื่อง WEDM มีระบบหมุนเวียนของน้ำกลั่น หลังจากใช้งานแล้วจะมีเศษผงโลหะสีดำปนอยู่ในน้ำกลั่นตัวกลาง ดังนั้นต้องมีระบบกรองเศษผงโลหะก่อนจะหมุนเวียนเข้าสู่ปั๊มเพื่อใช้งานอีกครั้ง จะเห็นได้ว่าการผลิตด้วยกรรมวิธีนี้การสปาร์คด้วยกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนสูงจนโลหะหลอมละลาย เศษวัสดุที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจะมีทั้งเศษวัสดุที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยเศษเหล่านี้จะถูกน้ำพาไปยังระบบกรองของเครื่องจักรที่สามารถกรองเศษขนาดเล็กได้ ซึ่งในกรณีที่มีการหลอมละลายของโลหะเนื่องจากความร้อน อนุภาคที่หลอมละลายขนาดเล็กของโลหะอาจจะปนอยู่ในน้ำกลั่น

ตัวกลาง และมีขนาดเล็กกว่าระบบกรองที่ยังคงตกค้างอยู่ในน้ำกลั่น เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนน้ำกลั่นและน้ำนั้นจะถูกปล่อยทิ้งตามท่อระบายน้ำ (บริษัท ไทพ์วัน ซัพพลาย จำกัด, 2555) ถ้ามีการปนเปื้อนจากสารโลหะหนักในน้ำกลั่นและมีการปล่อยทิ้งโดยไม่ผ่านการกำจัดที่ถูกวิธี อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากโลหะหนักสลายตัวในกระบวนการธรรมชาติยาก บางส่วนจะตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ในแหล่งน้ำและสะสมในสัตว์น้ำตามห่วงโซ่อาหาร รวมถึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดมลพิษด้านอื่นได้

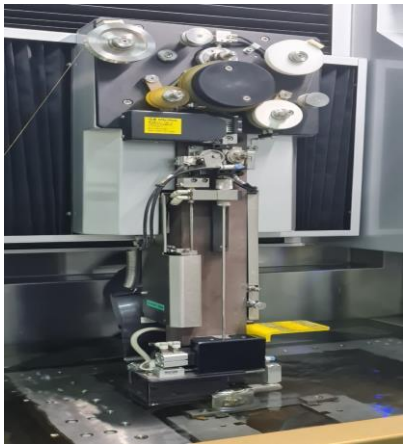
สารโลหะหนักมีหลายชนิด เช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ปรอท แมงกานีส สังกะสี ทองแดง นิเกิล เป็นต้น หากเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสามารถเข้าสู่มนุษย์โดยการบริโภคน้ำและอาหารที่ปนเปื้อน ทำให้เกิดการสะสมในร่างกายและเกิดพิษแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง เช่น มีผลต่อระบบประสาท ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำลายเนื้อเยื่อสมอง คลื่นไส้อาเจียน ปวดท้องรุนแรง ขัดขวางการสร้างเม็ดเลือดแดง เกิดโลหิตจาง ความดันโลหิตสูง ไตวาย เกิดโรคอิไต-อิไต ทำให้มีอาการปวดตามข้อกระดูก ท้องร่วง ปวดศีรษะ ตับวายและเสียชีวิตได้ (ธีรนาถ, 2563) ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้าในการผลิตชิ้นส่วนโลหะมีการใช้เส้นลวดโลหะ เช่น ทองแดง ทองเหลือง ทังสเตน โมลิบดินัม เป็นต้น ในการตัดเฉือนชิ้นงาน อาจทำให้โลหะเหล่านี้เกิดการละลายและปนเปื้อนสารโลหะหนักในน้ำกลั่นได้ โดยเส้นลวดที่นิยมใช้ได้แก่ ทองเหลือง (เป็นโลหะผสมที่มีทองแดงและสังกะสีเป็นส่วนประกอบหลัก) เมื่อนำไปตัดโลหะแล้วอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของทองแดงและสังกะสีได้ ซึ่งอันตรายจากทองแดงจะทำให้เกิดอาการ อ่อนเพลีย อาเจียน น้ำหนักลด เบื่ออาหาร เม็ดเลือดแดงผิดปกติได้ (Baldwin, 2003) ส่วนสังกะสีจะสะสมที่ตับและไตทำให้เกิดตับวายและไตวายได้ และทำให้เกิดโลหิตจางเป็นต้น (Huang *et al*. 2017)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำเสียจากกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมของไทยที่ใช้เครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้าในการผลิตชิ้นส่วนโลหะหรืออุตสาหกรรมแม่พิมพ์อยู่เป็นจำนวนมาก หากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้มีการปนเปื้อนโลหะหนักต่างๆ สารเหล่านี้จำนวนมากอาจสะสมในแหล่งดิน น้ำใต้ดิน บริเวณแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม หรือพื้นที่เกษตรกรรมของชุมชน และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ในชุมชนได้ อีกทั้งโลหะหนักเหล่านี้อาจสะสมในระบบห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ และอันตรายจากการปนเปื้อนของโลหะหนักสามารถส่งผลเสียต่อสุขภาพของทุกสิ่งมีชีวิตรวมถึงเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นแนวทางในการตรวจสอบโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำกลั่นก่อนกรองและหลังกรองในกระบวนการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าเบื้องต้น เพื่อจะได้หาทางป้องกันและตระหนักถึงอันตรายจากโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้าก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยป้องกันและรักษาสิ่งแวดล้อม รวมถึงการออกกฎหมายควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานที่เข้มงวดมากขึ้นต่อไป

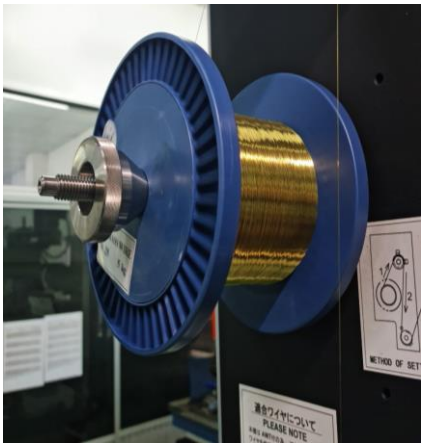
วิธีการดำเนินการวิจัย

Wire electrical discharge machining (WEDM) เป็นเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดที่อาศัยการเดินตัดของเส้นลวด (wire) ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่จ่ายไฟให้กับเส้นลวด และเส้นลวดจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราความเร็วที่เหมาะสมซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน, 2565) ซึ่งส่วนประกอบสำคัญของเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) ตัวเครื่อง (machine) เป็นเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด (รูปที่ 1) 2) ตู้ควบคุมสำหรับการทำงานของเครื่อง (electrical cabinet) และลวดทองเหลืองสำหรับตัดโลหะ (รูปที่ 2) 3) ระบบสารตัวกลาง (dielectric system) เป็นระบบการหล่อเย็นด้วยน้ำกลั่น (รูปที่ 3)

รูปที่ 1 เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด



ก

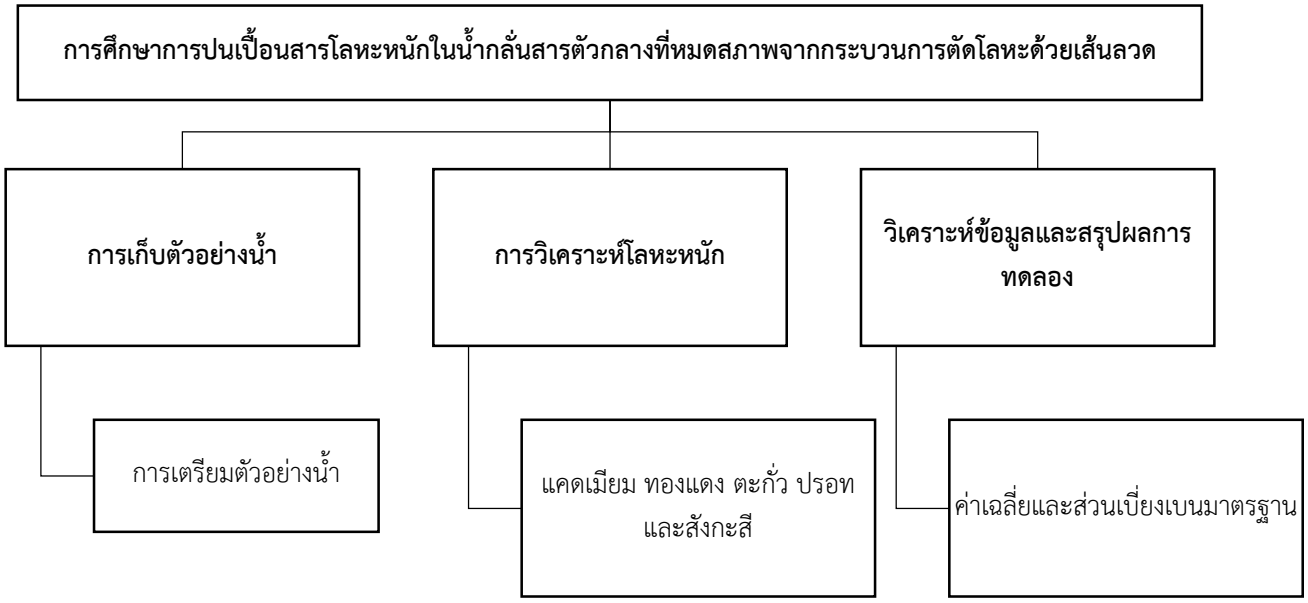


ข

รูปที่ 2 ระบบการตัดชิ้นงานด้วยลวดโลหะ ตัวควบคุมการทำงานของเครื่องตัดโลหะ (ก) ลวดทองเหลืองสำหรับตัดโลหะ (ข)

รูปที่ 3 ระบบการหล่อเย็นด้วยน้ำกลั่น

จากขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการศึกษาการปนเปื้อนสารโลหะหนักในน้ำกลั่นสารตัวกลางที่หมดสภาพจากกระบวนการตัดโลหะด้วยเส้นลวด เริ่มจากการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาเตรียมตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปรอท และสังกะสี และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังรูปที่ 4

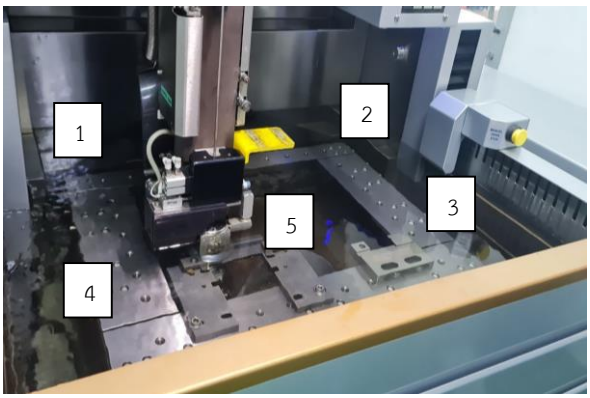


รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการปนเปื้อนสารโลหะหนักในน้ำเสียจากกระบวนการตัดโลหะด้วยเส้นลวด

การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำกลั่นก่อนกรองและหลังกรองด้วยขวดพลาสติกคุณภาพดีที่มีฝาปิดสนิทปราศจากการปนเปื้อนจากโลหะหนักขนาด 1 l โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำกลั่นก่อนกรองและหลังกรองจากระบบหล่อเย็นด้วยน้ำกลั่น 5 จุด (รูปที่ 5) จำนวนอย่างละ 1,000 ml ทั้งหมด 5 ซ้ำ และนำภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ºC แล้วไปทำการวิเคราะห์โลหะหนักภายใน 24 ชั่วโมง อ้างอิงจาก ศูนย์ห้องปฏิบัติการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2549)



รูปที่ 5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำกลั่นก่อนกรองและหลังกรองจากระบบการหล่อเย็นด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมตัวอย่างน้ำกลั่นก่อนกรองและหลังกรอง

นำตัวอย่างน้ำปริมาตร 50 ml มาเติมกรดเปอร์คลอริค ($HClO_4$) : ไนตริก (HNO_3) (อัตราส่วน 1:3) ปริมาตร 12 ml จากนั้นนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 80 ºC บนเตาให้ความร้อน จนมีปริมาตรเหลือ 20 ml ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2553) ส่วนการวิเคราะห์ปรอทในตัวอย่างน้ำต้องมีการเติม Potassium dichromate เพื่อป้องกันการสูญเสียปรอท เนื่องจากปรอทเป็นโลหะที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย โดยใช้วิธี Standard methods for the Examination of Water and Wastewater 18th ed. (1992) ด้วยวิธีทดสอบอ้างอิง Greenberg *et al*. (1992)

การวิเคราะห์โลหะหนัก

โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์มี 5 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปรอท และสังกะสี ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) รุ่นAA - 6200 ยี่ห้อ SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น ทุกตัวอย่างทำการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ ด้วยวิธีทดสอบอ้างอิง Baird *et al*. (2017)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างน้ำเสีย

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการวิเคราะห์โลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปรอท และสังกะสี ในตัวอย่างน้ำกลั่นก่อนกรองและหลังกรองด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) ทุกตัวอย่างทำการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ พบว่าตัวอย่างน้ำกลั่นก่อนกรองไม่พบแคดเมียม ส่วนทองแดง ตะกั่ว ปรอท ตรวจพบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.52 ± 0.06 <0.001 <0.001 mg/l ตามลำดับ และตรวจพบสังกะสีมีค่ามากที่สุดและมีค่าเกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.72 ± 0.01 mg/l (สังกะสีไม่เกิน 5.00 mg/l) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด ในตัวอย่างน้ำกลั่นก่อนกรอง

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบก่อนกรอง (ครั้งที่) หน่วย mg/l						
	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่ามาตรฐาน* (mg/l)
แคดเมียม (Cd)	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect	ไม่เกิน 0.03
ทองแดง (Cu)	0.52	0.43	0.50	0.56	0.57	0.52 ± 0.06	ไม่เกิน 2.00
ตะกั่ว (Pb)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ไม่เกิน 0.20
ปรอท (Hg)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ไม่เกิน 0.005
สังกะสี (Zn)	6.72	6.73	6.70	6.72	6.73	6.72 ± 0.01	ไม่เกิน 5.00

*ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 (ราชกิจจานุเบกษา, 2560)

เมื่อวิเคราะห์โลหะหนัก 5 ชนิด ในตัวอย่างน้ำหลังกรอง พบว่า ไม่พบแคดเมียม แต่ตรวจพบทองแดง ตะกั่ว ปรอทปะปนในตัวอย่างน้ำกลั่นหลังกรอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 ± 0.04 <0.001 0.0011 mg/l ตามลำดับ และตรวจพบสังกะสีมีค่ามากที่สุดและมีค่าเกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.51 ± 0.03 mg/l (สังกะสีไม่เกิน 5.00 mg/l) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด ในตัวอย่างน้ำกลั่นหลังกรอง

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบหลังกรอง (ครั้งที่) หน่วย mg/l						
	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย ± SD	ค่ามาตรฐาน* (mg/l)
แคดเมียม (Cd)	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect	ไม่เกิน 0.03
ทองแดง (Cu)	0.45	0.40	0.35	0.40	0.42	0.40 ± 0.04	ไม่เกิน 2.0
ตะกั่ว (Pb)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ไม่เกิน 0.2
ปรอท (Hg)	0.0011	0.0012	0.001	0.0011	0.0011	0.0011	ไม่เกิน 0.005
สังกะสี (Zn)	6.49	6.55	6.50	6.53	6.48	6.51 ± 0.03	ไม่เกิน 5.00

*ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 (ราชกิจจานุเบกษา, 2560)

งานวิจัยนี้ได้ตรวจวิเคราะห์น้ำกลั่นในระบบก่อนกรองและหลังกรองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 น้ำกลั่นที่ใช้งานแล้วหลังจากการตัดโลหะ (น้ำก่อนกรอง) จะมีเศษผงโลหะที่เกิดจากการตัดปะปนอยู่ จากนั้นน้ำก่อนกรองจะไหลสู่ถังกรองน้ำเพื่อกรองเศษโลหะและน้ำกลั่นจะหมุนวนกลับมาใช้ใหม่ในระบบ อีกครั้ง (น้ำหลังกรอง) ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์หาโลหะหนักต่างๆ ทั้งน้ำก่อนและหลังกรองก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่าตรวจพบสังกะสีมีค่ามากกว่าโลหะหนักชนิดอื่นและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.72 ± 0.01 และ 6.51 ± 0.03 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเกินค่ามาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 โดยสังกะสีต้องไม่เกิน 5.00 mg/l

ส่วนสารโลหะหนักอื่น ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปรอท มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 คาดว่าการที่ค่าสังกะสีมีค่าเกินมาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 นั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากการใช้เส้นลวดตัดโลหะที่ทำมาจากทองเหลือง เพราะทองเหลืองเป็นโลหะที่เกิดจากการผสมกันระหว่างสังกะสีและทองแดง เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดจะเกิดความร้อนสูง ทำให้โลหะหลอมละลายแตกตัวเป็นไอออนของสังกะสีและทองแดงได้ จึงมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนของสังกะสีและทองแดงในตัวอย่างน้ำกลั่นตัวกลางได้ (บริษัท ไชยเจริญเทค จำกัด, 2565)

จากผลการทดลองตรวจพบค่าสังกะสีที่เกินค่ามาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมพ.ศ. 2560 ในน้ำตัวอย่างหลังกรองนั้น เป็นเพราะว่าขนาดไอออนของสังกะสีมีขนาดเล็กมาก โดยมีขนาดไอออนของธาตุ 134 pm (พรพิมล และภาวินี, 2555) จึงทำให้สามารถผ่านระบบกรองของเครื่องจักรที่มีขนาด 3 μmได้ (Tool engineer, 2554) ส่วนผลการตรวจวิเคราะห์โลหะอื่นๆ ในน้ำกลั่นตัวอย่างจากเครื่องตัดโลหะ พบว่ามีทองแดง ตะกั่ว ปรอท ปนเปื้อนในน้ำเล็กน้อย ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 จากการตรวจพบโลหะหนักในตัวอย่างน้ำกลั่นในระบบกรองของเครื่องจักร ถ้ามีการปล่อยทิ้งโดยไม่ได้กำจัดโลหะหนักอย่างถูกวิธี อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมตามมาได้ ส่วนงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำต่างๆ ที่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรม ดังเช่น รายงานวิจัยของทิพย์วัลย์ (2530) ศึกษาผลกระทบของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำพอง จ.ขอนแก่น โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเขื่อนอุบลรัตน์ถึงบ้านห้วยเสียว ระยะทาง 50 km ทั้งหมด 14 จุด แล้วนำมาวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และอาร์เซนิก โดยเทคนิคการดูดกลืนโดยอะตอม พบว่าปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบ คือ บริเวณโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ มีเหล็กและแมงกานีสมีค่าเฉลี่ย 2.82 และ0.51 mg/l ตามลำดับ ส่วนจุดปล่อยน้ำจากโรงงานน้ำตาลถึงปากทางบ้านห้วยเสียว ตรวจพบเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ส่วนโลหะหนักตัวอื่นๆ ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม อาร์เซนิก และปรอทตรวจไม่พบ ส่วนงานวิจัย

ของจุฑาทิพย์ (2557) ศึกษาการปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำบาดาลบริเวณเขตอุตสาหกรรมและสถานที่ฝังกลบมูลฝอย อ.เมือง จังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากบริเวณนั้นส่วนใหญ่เป็นพื้นที่อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จึงทำการวิเคราะห์หาสารโลหะหนัก 9 ชนิด ได้แก่ สังกะสี โครเมียม ตะกั่ว สารหนู แมงกานีส ทองแดง ปรอท แคดเมียม และเหล็ก โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 20 จุด พบว่า บริเวณสถานที่ฝังกลบมูลฝอย มีโลหะหนัก 3 ชนิดที่เกินค่ามาตรฐาน คือ สารหนู ปรอท และตะกั่ว ส่วนบริเวณบริษัทเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีโลหะหนัก 5 ชนิดที่เกินมาตรฐาน คือ แมงกานีส สารหนู ตะกั่ว เหล็ก และปรอท งานวิจัยของพรรณวดีและคณะ (2540) ศึกษาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง สารหนู และสังกะสีในลำน้ำจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ บริเวณลุ่มน้ำแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยการเก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำในลำห้วยต่างๆ ที่ผ่านการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ป่าธรรมชาติ พื้นที่ชุมชน พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เกษตรกรรมผสมชุมชน และพื้นที่อุตสาหกรรม พบว่าพื้นที่อุตสาหกรรมมีปริมาณตะกั่ว สังกะสี และทองแดง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเท่ากับ 59.58 29.17 และ 1.83 µg/l ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าจากรายงานการวิจัยทั้งสามเรื่องนั้น การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำที่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรมต่างๆ จะตรวจพบปริมาณโลหะหนักหลายชนิดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ที่ตรวจพบโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเช่นกัน ส่วนงานวิจัยการศึกษาปริมาณโลหะหนักจากตัวอย่างน้ำและตะกอนดิน ดังเช่นงานวิจัยของทิตา (2554) ศึกษาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล ในตัวอย่างน้ำและตะกอนท้องน้ำจากปากแม่น้ำท่าตะเภา จ.ชุมพร ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2553 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ด้วยวิธีเทคนิค Atomic absorption spectrophotometry (AAS) พบว่าปริมาณสังกะสี แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล ที่พบในตัวอย่างน้ำจากปากแม่น้ำท่าตะเภา อยู่ในช่วง 0.065 - 0.950 0.260 - 1.360 0.110 - 0.245 0.135 - 0.880 และ 0.130 - 2.440 mg/l ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน สังกะสีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลในตัวอย่างตะกอนท้องน้ำ พบว่าอยู่ในช่วง 61.46 - 86.77 1.51 - 2.68 28.41- 57.97 34.49 - 52.70 และ 17.93 - 46.15 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ไม่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่กำหนดของโลหะหนักในดินตะกอนของประเทศแคนนาดา สังกะสีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิลมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด งานวิจัยของแววตาและคณะ (2549) ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทราถึงปากแม่น้ำตราด จ.ตราด โดยศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน 2 ครั้ง ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) รวม 52 สถานี พบว่าบริเวณปากแม่น้ำ จ.จันทบุรีและจ.ตราดมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งของไทย ส่วนในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง พบว่าปริมาณปรอท ตะกั่ว และสังกะสี มีค่าเกินมาตรฐานของต่างประเทศ (เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนกำหนดไว้) งานวิจัยของอนุรักษ์และดาราวัลย์ (2563) ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสมเด็จ อ.สมเด็จ จ.กาฬสินธุ์ โดยใช้เทคนิค Atomic absorption spectrophotometry (AAS) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน พ.ศ. 2562 พบว่า ปริมาณโครเมียม ตะกั่ว สังกะสี และเหล็กในน้ำเสีย เท่ากับ 0.021 ± 0.006 0.086 ± 0.003 0.816 ± 0.339 และ1.606 ± 0.824 mg/l ตามลำดับ และในน้ำทิ้ง เท่ากับ 0.014 ± 0.003 0.052 ± 0.005 0.603 ± 0.096 และ0.459 ± 0.026 mg/l ตามลำดับ ส่วนปริมาณปรอทในน้ำเสียและน้ำทิ้งไม่สามารถตรวจวัดได้ และงานวิจัยของธวัดชัยและคณะ (2560) ศึกษาการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน น้ำ และปลาในลำน้ำมูลซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมโดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่วและคำนวณค่าการสะสมโลหะหนัก (bioconcentration factor: BCF) จำนวน 3 สถานี พบว่าสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดินและน้ำมีปริมาณ 12.78 - 115.30 8.12 - 25.63 8.79 - 9.08 และ47.38 - 111.82 mg/kg ตามลำดับ และ 13.39 - 16.35 8.00 - 8.36 4.35 - 6.59 และ 27.38-31.80 mg/l ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่ตรวจพบในน้ำนี้มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนในตะกอนดินมีเพียงปริมาณสังกะสีที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน และในปลา 9 ชนิด มีปริมาณ

โลหะหนักในแต่ละอวัยวะเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ทางเดินอาหาร > เหงือก > เนื้อ และมีค่า BCF เรียงจากมากไปน้อย คือ สังกะสี > ตะกั่ว > แคดเมียม > ทองแดง จะเห็นได้ว่างานวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่ตรวจพบโลหะหนักหลายชนิดในตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเช่นกัน ซึ่งอ้างอิงจากแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะพบสังกะสี นิเกิล ทองแดง โครเมียม ตะกั่ว แคดเมียม และแมงกานีส ซึ่งมีความเป็นพิษสูงเมื่อปนเปื้อนในแหล่งธรรมชาติ (Jacob *et al.,* 2018)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในแหล่งดิน น้ำ ในบริเวณอุตสาหกรรมนั้นได้ตระหนักถึงความเป็นพิษของโลหะหนัก การไม่ย่อยสลาย รวมถึงการสะสมในสิ่งมีชีวิตและระบบห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษจากโลหะหนักขึ้นกับชนิดของโลหะหนักและปริมาณในการรับ ถ้าได้รับโลหะหนักในปริมาณมากจะทำให้เกิดภาะพิษเฉียบพลัน เช่น ตัวชา อาเจียน มึนงง และหมดสติได้แต่ถ้าได้รับโลหะหนักในระยะยาวจะทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย ปวดกล้ามเนื้อ ปวดตามข้อ (ธีรนาถ, 2563) ขึ้นกับชนิดของโลหะหนัก ดังนี้ 1) แคดเมียม เมื่อเข้าสู่ร่างกายทำให้เอนไซม์หลายชนิดไม่ทำงาน เกิดโลหิตจาง อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ ความดันโลหิตสูง ปวดกระดูก ท้องร่วง อาเจียน ตับวาย ไตทำงานผิดปกติ ทำให้เกิดภาวะไตวายได้และเสียชีวิตได้ (Harrison, 2001) 2) ทองแดง ถ้าร่างกายมนุษย์ได้รับทองแดงเกิน 100 mg จะทำให้เกิดอาการเบื่ออาหาร อ่อนเพลีย อาเจียน น้ำหนักลด เม็ดเลือดแดงผิดปกติ ยับยั้งการทำงานของตับและทำให้ตับแข็งได้ (Baldwin *et al.,* 2003) 3) ตะกั่ว จะทำลายเม็ดเลือดแดงและระบบเนื้อเยื่อ รวมถึงอวัยวะต่างๆ ได้แก่ สมอง ต่อมไทรอยด์ ไต และกระดูก เกิดอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดกล้ามเนื้อ โลหิตจาง ทำลายเซลล์ประสาท มีผลต่อสติปัญญาและความจำเสื่อม (Seema and Tripathi, 2012) 4) ปรอท ทำให้เกิดโรคมินามาตะ ทำให้เกิดอาการปวดท้องรุนแรง ทำลายระบบประสาท เซลล์สมอง มีผลกับความจำ และมีผลต่อการมองเห็นอีกด้วย (elixir™, 2562) 5) สังกะสี ถ้าเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะเกิดการสะสมที่ตับและไต สามารถทำให้เกิดตับวายและไตวายได้ โลหิตจาง อีกทั้งทำให้โครโมโซมผิดปกติและก่อให้เกิดมะเร็งอีกด้วย (Huang *et al*., 2017)

ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเครื่องตัดโลหะควรมีมาตรการการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากเครื่องตัดโลหะให้ได้ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 โดยเฉพาะสังกะสีที่ตรวจพบเกินค่ามาตรฐานในน้ำเสีย จึงควรมีวิธีการในการกำจัดที่ถูกต้องก่อนการปล่อยทิ้ง ซึ่งการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมีหลากหลายวิธีอาจใช้การตกตะกอนโลหะทางเคมี การใช้เรซินดูดซับโลหะ หรือวิธีทางเคมีไฟฟ้า เป็นต้น ดังเช่นงานวิจัยของสหรัฐ (2552) ศึกษาการประยุกต์ใช้การตกตะกอนทางเคมีด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์และกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสังกะสีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นใย พบว่าการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ pH 10 สามารถกำจัดสังกะสีได้ 99.68% การตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่ pH 9 สามารถกำจัดสังกะสีได้ 99.71% ส่วนวิธีทางไฟฟ้าเคมี พบว่า การเรียงขั้วแบบต่อขนานที่กระแสไฟฟ้า 500 mA กำจัดสังกะสี ณ ชั่วโมงที่ 6 ได้ 100% (สหรัฐ, 2552) งานวิจัยของพูลเพชร (2541) ศึกษาการกำจัดโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการใช้แผ่นเยื่อกรอง 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.2 μm ผลิตจาก Cellulose acetate และแผ่นเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันที่มี MWCO 30 kDa ผลิตจาก Polysulfone โดยนำน้ำเสียจากโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้าที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีก่อนแล้วนำมาเข้าระบบการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง พบว่า การกรองน้ำเสียจากโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยแผ่นกรองไมโครฟิลเตรชัน กำจัดโครเมียมได้ 12.39 - 66.37% กำจัดทองแดงได้ 79.17 - 96.67% กำจัดนิกเกิลได้ 40.12 - 68.86% และกำจัดสังกะสีได้ 10.00 - 60.00% สำหรับการกรองน้ำเสียสังเคราะห์รวมโดยแผ่นเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชันกำจัดโครเมียมได้ 44.44 - 56.57% กำจัดทองแดงได้มากกว่า 98.69% กำจัดนิกเกิลได้ 96.72% และกำจัดสังกะสีได้มากกว่า 98.98% (พูลเพชร, 2541) งานวิจัยของสัมพันธ์และคณะ (2562) ศึกษาการกำจัดโครเมียมและสังกะสีในน้ำด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า มีข้อดีคือ สะดวก รวดเร็ว และต้นทุนต่ำ ซึ่งใช้เซลล์อิเล็กโตรไลติกที่มีแท่งแกรไฟต์ไส้ดินสอเป็นขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง

ขั้วแล้วจ่ายค่าต่างศักย์ไฟฟ้า 2 - 12 โวลต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตรวจสอบปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) พบว่า สามารถกำจัดสังกะสีและโครเมียมได้ 37.90% และ 11.19% ตามลำดับ (สัมพันธ์และคณะ, 2562) และงานวิจัยของขนิษฐาและฉันมณี (2565) ศึกษาการกำจัดไอออนสังกะสีจากน้ำเสียเส้นด้ายยางโดยใช้เทคนิคการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้สารตกตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมซัลไฟด์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดไอออนสังกะสีด้วยวิธีการตกตะกอน คือใช้โซเดียมซัลไฟด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 26.67 ml ต่อน้ำเสีย 1 l อัตราการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที อัตรากวนช้า 30 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที ปล่อยให้ตกตะกอน 60 นาที น้ำหลังบำบัดมีปริมาณไอออนสังกะสี 0.13 ± 0.05 mg/l คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 99.99 ± 0.03 (ขนิษฐาและฉันมณี, 2565) จากงานวิจัยเหล่านี้มีหลายวิธีซึ่งสามารถเป็นแนวทางที่ช่วยโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตัดโลหะในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยจะเห็นได้ว่าโรงงานอุตสาหกรรมประเภทผลิตชิ้นส่วนโลหะที่อาศัยกระบวนการการตัดโลหะโดยเครื่อง Wire electrical discharge machining (WEDM) มีโอกาสทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารโลหะหนัก เช่น สังกะสีในน้ำกลั่นก่อนกรองและหลังกรองระหว่างการตัดชิ้นงานโลหะ ซึ่งการตัดโลหะด้วยเส้นลวดจะใช้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวดทองเหลืองเพื่อตัดชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนสูงทำให้วัสดุกลายไปเป็นไอออนและแยกออกจากวัสดุหลัก จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนสังกะสีเกินค่ามาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 โดยผลการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณสังกะสีที่ตรวจพบในน้ำเสียตัวอย่างก่อนและหลังการกรองมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด (5.0 mg/l) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.72 ± 0.01 และ 6.51 ± 0.03 mg/l ตามลำดับ

ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลิตชิ้นส่วนโลหะโดยเครื่อง WEDM ควรเพิ่มมาตรการในการตรวจหาโลหะหนักที่มีการปนเปื้อนของน้ำกลั่นระบบสารตัวกลาง และมีการบำบัดสารโลหะหนักอย่างถูกวิธี ก่อนการปล่อยทิ้งตามแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะน้ำกลั่นที่มีการปนเปื้อนของสังกะสีที่มีค่าเกินมาตรฐานการควบคุมระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560 โดยอาจจะใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีหรือวิธีทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสีได้สูง เพื่อป้องกันสารโลหะหนักตกค้างและมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ทั้งแหล่งดิน น้ำ สัตว์น้ำ เกิดสะสมในระบบห่วงโซ่อาหารและทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ได้ และควรมีกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อความปลอดภัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการ Pre - Talent Mobility โครงการส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรม (Talent Mobility) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ดิน น้ำ และพืช ด้านสิ่งแวดล้อม. แหล่งข้อมูล: https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-05.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2564.

กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน. (2565). เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด 1. แหล่งข้อมูล: http://home.dsd.go.th/hr/web/uploads/dsdhr-JQ3ArTue24849.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน 2565.

ขนิษฐา เจริญลาภ และฉันมณี พูลเจริญศิลป์. (2565). การกำจัดไอออนสังกะสีจากน้ำเสียเส้นด้ายยางโดยใช้เทคนิคการตกตะกอนทางเคมี. วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ 16(1): 99 - 110.

จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง. (2557). การปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำบาดาลบริเวณเขตอุตสาหกรรมและสถานที่ฝังกลบมูลฝอย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา: 156 หน้า.

ทิตา ดวงสวัสดิ์. (2554). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินท้องน้ำบริเวณปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยทักษิณ. พัทลุง.

ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง. (2530). การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในลำน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น. ใน: รายงานการวิจัยจากองค์การบริหารวิเทศสหกิจแห่งสหรัฐอเมริกา (USAID) ประเทศไทย. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 317 - 325.

ธวัดชัย ธานี, พนิดา พันธ์สมบัติ, อรุณรัตน์ ฉวีราช, รุ่งลาวัลย์ สุดมูล และสำเนาว์ เสาวกูล. (2560). การสะสมโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอน และปลาในลำน้ำมูล. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 11(1): 82 - 92.

ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2563). โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพ. วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ 13(1): 76 - 82.

บริษัท ไชยเจริญเทค จำกัด. (2565). เจาะลึกเรื่องน่ารู้ของทองเหลืองโลหะผสมระหว่างทองแดงและสังกะสี. แหล่งข้อมูล: https://www.chi.co.th/article/article-847/. ค้นเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2565.

บริษัท ไทพ์วัน ซัพพลาย จำกัด. (2555). การขึ้นรูปโลหะด้วยการ EDM. แหล่งข้อมูล: https://www.tosthailand.com/14474226/การขึ้นรูปโลหะด้วยการ EDM. ค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2565.

พรพิมล บุญถึง และภาวินี จิตรถนอม. (2555). การกำจัดไอออนโลหะหนัก โดยเปลือกเมล็ดทานตะวันปรับสภาพโดยสารเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร. 88 หน้า.

พรรณวดี ธำรงหวัง, ชลาทร ศรีตุลานนท์ และอรทัย ศุกรียพงศ์. (2540). ปริมาณโลหะหนักในลำน้ำจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ บริเวณลุ่มน้ำแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่. ใน: รายงานการวิจัยกลุ่มลุ่มน้ำ ส่วนวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมป่าไม้. สำนักวิชาการป่าไม้. กรมป่าไม้, เชียงใหม่. 1 - 68.

พูลเพชร ธงไชย. (2541). การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้แผ่นเยื่อกรอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา: 228 หน้า.

ราชกิจจานุเบกษา. (2560). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560. แหล่งข้อมูล: http://www.genco.co.th/Document/Inf_14.PDF. ค้นเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2565.

แววตา ทองระอา, ฉลวย มุสิกา, วันชัย วงสุดาวรรณ และอาวุธ หมั่นหาผล. (2549). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก. ใน: รายงานการวิจัยการศึกษาสภาวะแวดล้อมทางทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ปี 2547. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 1 - 126.

ศูนย์ห้องปฏิบัติการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2549). คู่มือการสุ่มเก็บ การบรรจุ และการเก็บรักษาสภาพตัวอย่างน้ำเพื่อการตรวจวิเคราะห์และทดสอบในห้องปฏิบัติการ. แหล่งข้อมูล: http://www.oic.go.th/fileweb/cabinfo-center17/drawer002/general/data0000/00000176.PDF. ค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2566.

สหรัฐ เชาว์รูปดี. (2552). การกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรยอนโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี และกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: 124 หน้า.

สัมพันธ์ สร้อยกล่อม, ชานน สกุลอินทร์ และณรงค์ ผังวิวัฒน์. (2562). การกำจัดโครเมียมและสังกะสีในน้ำด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า. ใน: การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57. สาขาวิทยาศาสตร์และพันธุวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 43 - 50.

อนุรักษ์ ปิ่นทอง และดาราวัลย์ วิลัย. (2563). ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงพยาบาลสมเด็จ อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี 4(2): 45 - 57.

Baird, R.B., Eaton, A.D. and Rice, E.W. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd edition. Washington, D.C.: American Public Health Association (APHA). pp. 3 - 49.

Baldwin, D.H., Sandahl, J.F., Labenia, J.S. and Scholz, N.L. (2003). Sublethal Effects of Copper on Coho Salmon: Impacts on Nonoverlapping Receptor Pathways in the Peripheral Olfactory Nervous System. Environmental Toxicology and Chemistry 22(10): 2266 - 2274.

elixir™ by SCG. (2562). 3 โลหะหนัก ภัยแฝงที่มาจากถังเก็บน้ำหรือแทงค์น้ำ. แหล่งข้อมูล: https://www.scgchemicals.com/elixir/โลหะหนัก-อันตรายใกล้ตัว. ค้นเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2565.

Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. and Eaton, A.D. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition. Washington, D.C.: American Public Health Association (APHA). pp. 315.

Harrison, N. (2001). Inorganic contaminants in food. In Watson, D.H., Editor. Food Chemical Safety Contaminants. first Edition. Cambridge: Woodhead Publishing. pp. 148 - 168.

Huang, S., Yuan, C., Li, Q., Yang, Y., Tang, C., Ouyang, K. and Wang, B. (2017). Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils from a Typical Pb-Zn Mining Area. Polish Journal of Environmental Studies 26(3): 1105-1112.

Jacob, J.M., Karthik, C., Saratale, R.G., Kumar, S.S., Prabakar, D., Kadirvelu, K. and Pugazhendhi, A. (2018). Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. Journal of Environmental Management 217: 56 – 70.

Seema, T. and Tripathi, I.P. (2012). Lead Pollution -An Overview. International Research Journal of Environmental Sciences 1(5): 84 - 86.

Tool engineer. (2554). Wire EDM Machining. Source: https://toolengineer.files.wordpress.com/ Wire EDM Machining. Retrieved from 7 November 2565.

❑❑❑❑❑