



การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้รื้อแยกขยะ อิเล็กทรอนิกส์ที่สัมผัสโลหะหนักผ่านทางผิวหนัง ในจังหวัดบุรีรัมย์

คณานต์ โกฎจนารณ*, ณิชารีย์ สารทพันธุ์**, กมลทิพย์ ชันชะลี***, และทรงศนีย์ พุกษาลิทธิ****

Received : March 5, 2020

Revised : March 31, 2020

Accepted: April 21, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานรื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จากการสัมผัสโลหะหนักผ่านทางผิวหนังในพื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่เกาะติดมือของผู้ปฏิบัติงานก่อนทำงานตอนเช้า หลังทำงานตอนเช้าและบ่าย และหลังจากล้างมือเมื่อทำงานเสร็จด้วยเทคนิคการเช็ดมือโดยใช้ผ้าก๊อชชุบไอโซโพรพานอลความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนู ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี ในฝุ่นที่ติดอยู่บนมือของพนักงานระหว่างปฏิบัติงานมีค่าระหว่าง 0.02 – 8.44, 81.50 – 6,038.26, 785.43 – 49,899.31, 2.00 – 63.25, 81.50 – 188.36 และ 2,592.91– 40,722.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารไม่ก่อมะเร็งพบว่า ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตรายของสารหนูมีค่าสูงสุด มีช่วงความเชื่อมั่น 95% เท่ากับ 0.263 – 0.530 และตะกั่วมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.00×10^{-9} - 2.70×10^{-9} ซึ่งค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตรายของโลหะทุกชนิดมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านการสัมผัสด้วยมือยังไม่พบโอกาสที่จะเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตาม ผู้ปฏิบัติงานรื้อแยกควรทำความสะอาดมือหลังการทำงานทุกครั้งด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีสารซักล้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักที่ตกค้างที่มือ

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ / ขยะอิเล็กทรอนิกส์ / โลหะหนัก / การสัมผัสทางผิวหนัง

ผู้รับผิดชอบบทความ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงศนีย์ พุกษาลิทธิ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 02-218-5196 E-mail : tassanee.c@chula.ac.th

* นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหัวหน้าโปรแกรมวิจัยการจัดการขยะและของเสียอันตรายชุมชน ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Health Risk Assessment of Electronic Waste Dismantling Workers Exposed to Heavy Metals via Dermal Absorption in Buriram Province

Kakanan Konjanawan*, Nitaree Satrabhan**, Kamonthip Khunchalee*** and Tassanee Prueksasit****

Abstract

This applied science research aimed to estimate the health risk of electronic waste dismantling workers at Dang Yai, Baan Mai Chai Poj District, Buriram Province, exposed to heavy metals through dermal absorption. The samples of dust adhered to both their hands were collected by wiping technique using wiped gauze soaked with isopropanol 20% v/v before starting dismantling in the morning, after morning work, after evening work, and after finishing their work in the evening.

The results showed that the average concentrations of arsenic, lead, copper, cadmium, nickel, and zinc in the dust collected from workers' hands were in the range of 0.02 – 8.44, 81.50 – 6,038.26, 785.43 – 49,899.31, 2.00 – 63.25, 81.50 – 188.36 and 2,592.91– 40,722.91 mg/kg, respectively. The maximum in non-cancer risk, hazard quotients (HQ), was found in arsenic absorption with the 95% CI of 0.263 – 0.530, while the HQ of lead showed the minimum, 1.00×10^{-9} - 2.70×10^{-9} . All HQs less than 1 implied that there was no increase in health risk for the workers exposed to these heavy metals through their hands. However, the workers would be recommended to wash their hands properly by using cleaning agents in order to remove residual heavy metals after finish dismantling effectively.

Keywords: Health risk assessment / Electronic waste / Heavy metals / Dermal absorption

Corresponding Author: Assistant Professor Dr. Tassanee Prueksasit, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Wangmai Sub-district, Pathumwan District, Bangkok 10330, Tel. 02-218-5196 E-mail: Tassanee.c@chula.ac.th

* Student in B.Sc. (Environmental Science), Faculty of Science, Chulalongkorn University

** Ph.D. Assistant Professor, Faculty of Science, Chulalongkorn University, and Head of the Research Program of Municipal Solid Waste and Hazardous Waste Management, Center of Excellence on Hazardous Substance Management (HSM), Chulalongkorn University



1. บทนำ

ประเทศไทยมีผู้ประกอบการอาชีพหรือแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ระดับชุมชนมากกว่า 100 แห่ง (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2560) ซึ่งชุมชนในพื้นที่ชนบทดำเนินการรีไซเคิลขยะเหล่านี้ด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการอันประกอบด้วย การแยกชิ้นส่วน การเจาะ การทุบ และการเผา ฯลฯ (กระทรวงสาธารณสุข, 2557) ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและมีผลกระทบต่อสุขภาพได้ (สุจิตรา วาสนาดำรงดี, 2558) จากการสำรวจของกระทรวงสาธารณสุขพบว่า พื้นที่ดำเนินการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจังหวัดบุรีรัมย์ถือเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีชาวบ้านที่ประกอบอาชีพรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่รองลงมาจากจังหวัดกาฬสินธุ์ และมีรูปแบบการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ดำเนินการภายในครัวเรือนซึ่งเป็นพื้นที่ของชาวบ้าน การรีไซเคิลตามวิถีของชาวบ้านยังคงเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ จึงถือเป็นสาเหตุของการปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นทั้งขนาดเล็กและใหญ่ รวมไปถึงโลหะหนักซึ่งเป็นองค์ประกอบของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สารหนู เบริลเลียม แบเรียม แคดเมียม โครเมียม ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว พลวง และสังกะสี (Bi, Simoneit, Wang, Wang, Sheng, & Fu, 2010; Deng, Louie, Liu, Bi, Fu, & Wong, 2006) เป็นต้น

โดยทั่วไปผู้รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ไม่นิยมสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลขณะทำงานโดยเฉพาะการสวมถุงมือที่เหมาะสม ดังนั้น การสัมผัสสารอันตรายโดยเฉพาะโลหะหนักผ่านทางผิวหนังอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ โดยเฉพาะโครเมียม นิกเกิล สังกะสี และตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะหนักที่หากมีการสัมผัสผ่านผิวหนังมีโอกาสดูดซึมเข้ากระแสเลือด และเมื่อโลหะหนักดูดซึมผ่านผิวหนังแล้วอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวหรือแบบเฉียบพลันได้ จากรูปแบบการทำงานของผู้รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ตามที่กล่าวข้างต้น อาจเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ อย่างไรก็ตาม การสร้างความตระหนักในเรื่องการป้องกันตนเองขณะปฏิบัติงานควรมีข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยเฉพาะข้อมูลการสัมผัสโลหะหนักผ่านทางผิวหนังของผู้ประกอบอาชีพนี้ยังไม่มีการศึกษาแต่อย่างใด

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปริมาณการได้รับสัมผัสโลหะหนัก 6 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม นิกเกิล สังกะสี และสารหนู ของผู้รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยเก็บตัวอย่างที่มีเชื้อซึ่งเป็นอวัยวะหลักของร่างกายที่สัมผัสโดยตรง และนำข้อมูลปริมาณการรับสัมผัสโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ



3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่และประชากรในการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เก็บตัวอย่างการรับสัมผัสทางผิวหนังจากผู้ประกอบอาชีพรื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในพื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ ที่สมัครใจและยินยอมให้ความร่วมมือ โครงการวิจัยได้รับการยินยอมจากกลุ่มเป้าหมายและการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนกลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University) เลขที่การรับรอง: 230/2016 ลงวันที่ 23 ธันวาคม 2559 รูปแบบการประกอบอาชีพรื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชุมชนดำเนินการโดยรวมกลุ่มกันทำภายในครัวเรือน ส่วนใหญ่หลังคาเรือนละ 3-5 คน โดยกิจกรรมการรื้อแยกประกอบไปด้วยการแยกชิ้นส่วน การเจาะ การทุบ และการเผา ทั้งนี้ประเภทของชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการรื้อแยกขึ้นอยู่กับผู้นำเข้าของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งแต่ละวันอาจเหมือนหรือแตกต่างกัน จึงไม่สามารถควบคุมชนิด ประเภทและกิจกรรมที่ดำเนินการแต่ละวันได้ ทำการเก็บตัวอย่างโดยสุ่มจาก 2 หลังคาเรือน มีผู้ปฏิบัติงาน 6 ราย เก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 5 วัน และได้แบ่งช่วงเวลาก่อนเก็บตัวอย่างระหว่างเวลาการทำงาน (08.00 – 17.00 น.) ของผู้ปฏิบัติงานแต่ละรายเป็น 4 ช่วงคือ ก่อนทำงานตอนเช้า (คิดเป็น 30 ตัวอย่าง) เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงความเข้มข้นของโลหะหนักก่อนการทำงาน หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างหลังทำงานช่วงเช้าและบ่าย (ช่วงละ 30 ตัวอย่าง) เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่คนงานได้รับสัมผัสและใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสทางผิวหนัง และช่วงเวลาหลังล้างมือเมื่อเสร็จงานแล้ว (30 ตัวอย่าง) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพิจารณาความสามารถของโลหะหนักที่หลุดติดผิวหนัง และประเมินการลดลงของโลหะหนักในฝุ่นที่ติดอยู่บนมือทั้งสองข้างของผู้ปฏิบัติงาน

3.2 การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างการรับสัมผัสทางผิวหนัง

เก็บตัวอย่างจากมือทั้งสองข้างของผู้ปฏิบัติงานรื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคการเช็ดมือ (hand wipe technique) โดยใช้ผ้าก๊อชขนาดมาตรฐานที่ซังน้ำหนักไว้แล้วนำมาชุบไอโซโพรพานอล (isopropanol) 20% v/v หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จแล้วนำผ้าก๊อชใส่ไว้ในขวดโพลีเอทิลีน (polyethylene) เพื่อนำกลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อวัดความชื้นจนแห้ง แล้วนำผ้าก๊อชที่แห้งแล้วไปซังน้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง และตัดให้มีขนาดประมาณ 1 ตารางเซนติเมตร ทำการสุมผ้าก๊อชประมาณ 0.3 กรัม ไปสกัดหาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ (microwave digester) ตามวิธีมาตรฐาน U.S. EPA 3051 จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่วและทองแดงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer; AAS) วิเคราะห์แคดเมียม นิกเกิลและสังกะสี ด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลลูมิเนสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) และใช้เครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดไอเย็น (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer; CVAAS) วิเคราะห์สารหนู ระหว่างที่เก็บตัวอย่างได้เก็บข้อมูลเพิ่มเติม



เกี่ยวกับกิจกรรมการรื้อแยก การสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลของผู้ปฏิบัติงาน รวมไปถึงการทำความสะอาดที่ผู้ปฏิบัติงานใช้ล้างมือเมื่อเสร็จงานด้วยการสังเกตและจดบันทึก ความคมคุณภาพการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยการสร้างกราฟมาตรฐานของโลหะหนักทุกชนิด (R^2 มีค่าระหว่าง 0.9995 – 1.000) และวิเคราะห์ขีดความสามารถของเครื่องมือ (LOD) ที่วิเคราะห์ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม นิกเกิล สังกะสี และสารหนู โดยมีค่า LOD เท่ากับ 0.0793 ppm, 0.0055 ppm, 0.0994 ppb, 0.1273 ppb, 0.8997 ppb และ 0.2740 ppb ตามลำดับ

3.3 การวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นที่ติดอยู่บนมือทั้งสองข้างของผู้ปฏิบัติงาน

ความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วยมิลลิกรัม/กิโลกรัม (mg/kg) ของฝุ่นที่ติดอยู่บนมือทั้งสองข้างของผู้ปฏิบัติงาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$C_{Hi} = \frac{C_i \times V_{\text{sample}} \times (W_{G, \text{post}} \times W_{\text{sample}})}{M_G} \quad \dots (1)$$

เมื่อ C_{Hi} คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิด i ในฝุ่นที่ติดอยู่บนมือทั้งสองข้างของผู้ปฏิบัติงาน (mg/kg)

C_i คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิด i ที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง มิลลิกรัม/ลิตร (mg/L)

V_{sample} คือ ปริมาณสารละลายที่ได้จากการสกัดตัวอย่าง ลิตร (L)

$W_{G, \text{post}}$ คือ น้ำหนักผ้าก๊อซหลังเก็บตัวอย่าง กรัม (g)

W_{sample} คือ น้ำหนักผ้าก๊อซที่สุ่มเลือกมาเพื่อนำไปสกัดตัวอย่าง กรัม (g)

M_G คือ น้ำหนักฝุ่นบนผ้าก๊อซ กิโลกรัม (kg) เมื่อ $M_G = W_{G, \text{post}} - W_{G, \text{pre}}$

$W_{G, \text{pre}}$ คือ น้ำหนักผ้าก๊อซก่อนเก็บตัวอย่าง กรัม (g)

3.4 การวิเคราะห์ความสามารถของโลหะหนักที่เหลือติดผิวหนังของผู้ปฏิบัติงาน

การวิเคราะห์ความสามารถของโลหะหนักที่เหลือติดผิวหนังบริเวณมือของผู้ปฏิบัติงาน ทำได้โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักก่อนทำงานในตอนเช้า และหลังผู้ปฏิบัติงานล้างมือเมื่อเสร็จงานในแต่ละวัน แสดงค่าเป็น % ของโลหะที่ตกค้าง (% Residual Metal) ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 2

$$\% \text{ Residual Metal} = \frac{C_{H, \text{fn}}}{C_{H, \text{bm}}} \times 100 \quad \dots (2)$$

เมื่อ $C_{H, \text{fn}}$ คือ ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นบนมือทั้งสองข้างหลังล้างมือเมื่อเสร็จงาน (mg/kg)

$C_{H, \text{bm}}$ คือ ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นบนมือทั้งสองข้างก่อนทำงานตอนเช้า (mg/kg)



3.5 การวิเคราะห์การลดลงของโลหะหนักจากการล้างมือ

จากการสังเกตระหว่างการเก็บตัวอย่าง เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละวันผู้ปฏิบัติงานจะล้างมือด้วยผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ สบู่ ผงซักฟอก และน้ำยาล้างจาน จึงนำผลความเข้มข้นของโลหะหนักหลังจากที่ผู้ปฏิบัติงานล้างมือเมื่อเสร็จงานมาเปรียบเทียบกับโลหะหนักหลังทำงานช่วงบ่ายเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการลดลงของโลหะหนักจากการล้างมือ (% Metal Concentration Reduction) โดยคำนวณจากสมการที่ 3

$$\% \text{ Metal Concentration Reduction} = \frac{C_{H,fn}}{C_{H,aa}} \times 100 \quad \dots (3)$$

เมื่อ $C_{H,fn}$ คือ ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นบนมือทั้งสองข้างหลังล้างมือเมื่อเสร็จงาน (mg/kg)

$C_{H,aa}$ คือ ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นบนมือทั้งสองข้างหลังทำงานตอนบ่าย (mg/kg)

เนื่องด้วยข้อมูลความเข้มข้นของแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี ในตัวอย่างที่เก็บหลังจากที่ผู้ปฏิบัติงานล้างมือเมื่อเสร็จ ($C_{H,fn}$) ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือ จึงสามารถรายงานผลได้เฉพาะ % Residual Metal และ % Metal Concentration Reduction ของสารหนู ทองแดง และตะกั่ว

3.6 การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสทางผิวหนัง

การประเมินความเสี่ยงของผู้เฝ้าระวังแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จากการรับสัมผัสโลหะหนักกลุ่มนี้ ซึ่งจัดว่าเป็นสารไม่ก่อมะเร็งเมื่อสัมผัสผ่านทางผิวหนัง ทำการประเมินตามวิธีของ U.S. EPA (U.S. EPA 2004) ดังสมการที่ 4 และ 5 โดยความหมายของตัวแปรในสมการแสดงในตารางที่ 1 ค่าสัดส่วนความเป็นอันตราย (Hazard Quotient; HQ) เป็นค่าแสดงความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักที่ไม่ก่อมะเร็งสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 6 จากนั้นคำนวณค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index; HI) โดยรวมจากค่า HQ ที่เป็นสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 7 ถ้า Hazard Quotient (HQ) และ Hazard Index (HI) ของผู้ปฏิบัติงานมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คาดว่าจะไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักที่ศึกษา

$$\text{ปริมาณของสารที่ถูกดูดซึมต่อครั้ง (Absorbed Dose per Event; DA)} = \frac{C \times W \times ABS}{SA_{\text{wipe}}} \quad \dots (4)$$

$$\text{ปริมาณที่สารถูกดูดซึมที่ผิวหนัง (Dermal Absorbed Dose; DAD)} = \frac{(DA \times EV \times EF \times ED \times SA_{\text{Total}})}{(BW \times AT)} \quad \dots (5)$$

$$\text{Hazard Quotient (HQ)}_i = DAD / RfD_i \quad \dots (6)$$

$$\text{Hazard Index (HI)} = \sum HQ_i \quad \dots (7)$$



ตารางที่ 1 ความหมายของตัวแปรที่ใช้แทนค่าในสมการการรับสัมผัสทางผิวหนัง

ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
C	ความเข้มข้นโลหะหนักบนมือทั้งสอง	mg/kg	การวิเคราะห์ตัวอย่าง
W	น้ำหนักฝุ่นบนมือทั้งสอง	kg	การวิเคราะห์ตัวอย่าง
ABS	สัดส่วนการดูดซึมบนผิวหนัง (Dermal Absorption Fraction)	-	0.001 สำหรับผู้ใหญ่ (U.S. EPA, 2009)
SA _{wipe}	พื้นที่ผิวที่เช็ดบนมือทั้งสองข้าง	cm ²	0.98 ของ SA _{Total} (การวิเคราะห์ตัวอย่าง)
SA _{Total}	พื้นที่ผิวของมือทั้งสองข้าง	cm ²	0.107 (ผู้ชาย) 0.089 (ผู้หญิง) (U.S. EPA, 2004)
EV	ความถี่ในการทำกิจกรรม	event/day	1 event (U.S. EPA, 2004)
EF	ความถี่ของการรับสัมผัส	Day/year	350 วัน (U.S. EPA, 2004)
ED	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส	years	30 ปี (U.S. EPA, 2004)
BW	น้ำหนักตัว	kg	60.33 (ผู้ชาย) 56.68 (ผู้หญิง) (แบบสอบถาม)
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร	days	ED x 365 (U.S. EPA, 2004)
RfD _i	ปริมาณอ้างอิง (Reference Dose) ของการดูดซึมทางผิวหนัง (Dermal absorption)	mg/kg-day	As = 3×10^{-4} (EPA, 1987), Pb = 5.25×10^{-4} , Cd = 1.00×10^{-5} , Cu = 1.20×10^{-2} , Ni = 5.40×10^{-3} และ Zn = 6.00×10^{-2} (U.S. EPA, 2004)

หมายเหตุ: น้ำหนักตัวเฉลี่ยได้จากการเก็บแบบสอบถามในพื้นที่ศึกษา (ผู้ชาย 79 ราย และผู้หญิง 49 ราย)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาโดยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเชื่อมั่น 95% ของข้อมูล

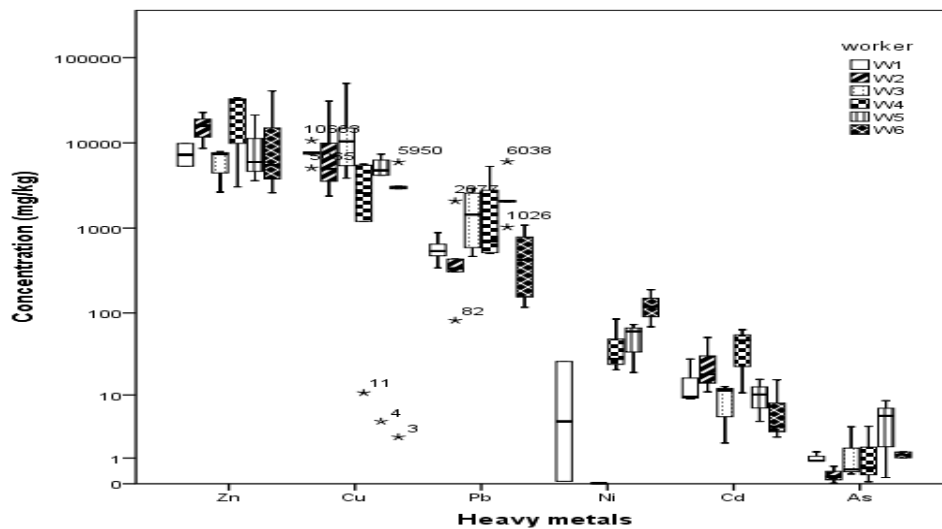
4. ผลการศึกษา

4.1 ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ผู้ปฏิบัติงานรื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์รับสัมผัส

ผลการตรวจความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดที่สกัดจากตัวอย่างฝุ่นที่เกาะติดมือทั้งสองข้างของผู้ปฏิบัติงานรื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 6 ราย เป็นผู้ชาย 4 รายและผู้หญิง 2 ราย อายุระหว่าง 33 – 61 ปี ในช่วงเวลาประกอบกิจกรรม (หลังทำงานช่วงเช้าและบ่าย) พบความเข้มข้นของสารหนู ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี มีค่าระหว่าง 0.02 – 8.44, 81.50 – 6,038.26, 785.43 – 49,899.31, 2.00 – 63.25,



81.50 – 188.36 และ 2,592.91– 40,722.91 mg/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีส่วนทำให้เกิดฝุ่นโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด ในการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์สามารถตรวจพบความเข้มข้นของโลหะหนักที่แตกต่างกันในตัวอย่างที่ได้จากผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน (ภาพที่ 1) ปริมาณที่ตรวจพบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ผู้ปฏิบัติงานทำการคัดแยกในแต่ละวัน จากข้อมูลการสังเกตที่บันทึกระหว่างกิจกรรมการรื้อแยกของผู้ปฏิบัติงานพบว่า ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 5 (W5) ตรวจพบความเข้มข้นของสารหนูสูงที่สุดเนื่องจากเป็นคนที่ทำหน้าที่รื้อแยกบัลลาสต์ ถึงแม้ว่าบัลลาสต์เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสารหนูเป็นส่วนประกอบในปริมาณน้อย แต่เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานคนนี้ทำการคัดแยกบัลลาสต์เป็นจำนวนมาก จึงสามารถตรวจพบปริมาณสารหนูที่ติดบนมือผู้ปฏิบัติงานสูง ตัวอย่างที่ตรวจพบความเข้มข้นของตะกั่ว (W4) และสังกะสี (W3 และ W4) สูงสุด มีแนวโน้มของกิจกรรมที่ทำเหมือนกันคือ การทុบจอ CRT ของโทรทัศน์ สำหรับทองแดงสามารถพบในปริมาณสูงในผู้ปฏิบัติงานคนที่ 2 (W2) และ 3 (W3) ที่ทำการเผาสายไฟและคัดแยกทองแดงออกจากทองวัสดุเหลือทิ้งจากการเผา สำหรับผู้ปฏิบัติงานคนที่ 3 และ 2 ตรวจพบความเข้มข้นของแคดเมียมสูงกว่าคนอื่นเพราะทำงานรื้อแยกตู้เย็นเป็นหลัก และผู้ปฏิบัติงานคนที่ 6 ตรวจพบนิเกิลสูงเนื่องจากทำการรื้อแยกแผงวงจรมากกว่าขยะอิเล็กทรอนิกส์อื่น



ภาพที่ 1 ความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นบนมือของผู้รื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

4.2 ความสามารถของโลหะหนักในการเหลือติดผิวหนังของผู้ปฏิบัติงาน

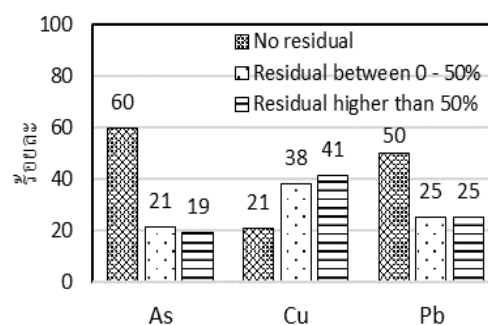
เมื่อพิจารณา % Residual Metal ของสารหนู ทองแดง และตะกั่ว (ภาพที่ 2) หาก % ของโลหะที่ตกค้างมีค่าสูงแสดงว่าโลหะหนักชนิดนั้นมีความสามารถในการเหลือติดบนผิวหนังมาก ผลการวิเคราะห์พบว่า สารหนูและตะกั่วมีค่า % Residual Metal บนผิวหนังหลังล้างมือต่ำกว่าร้อยละ 0 (60% และ 50% ของตัวอย่างทั้งหมด ตามลำดับ) แสดงว่ามีการตกค้างของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดบนมือของคณานน้อย ส่วน % Residual Metal ของทองแดงที่มีค่าส่วนใหญ่มากกว่า 50% (41% ของตัวอย่างทั้งหมด) ผลที่ได้อาจมีสาเหตุ



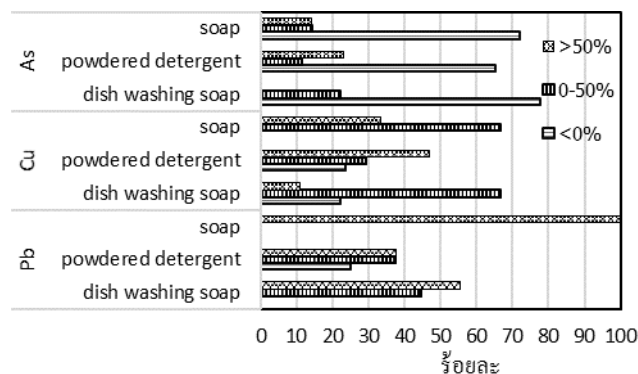
มาจากสารหนูมีความสามารถในการซึมผ่านผิวหนัง (skin-penetrating ability) ได้ไม่ดี (U.S.EPA, 2009) จึงมีโอกาสติดผิวหนังของคนงานสูง ส่วนทองแดงมีความสามารถทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อผิวหนังของสิ่งมีชีวิตได้ดี โดยมีการระบุค่า dermal absorption factor ของทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.3% (HERAG, 2007) และตะกั่วสามารถดูดซึมบนผิวหนังได้ดีเช่นกัน (อัตราการซึมผ่านผิวหนังเท่ากับ 10 cm/hr) (U.S.EPA, 2009)

4.3 การลดลงของโลหะหนักจากการล้างมือ

เมื่อพิจารณา % Metal Concentration Reduction ของสารหนู ทองแดง และตะกั่ว (ภาพที่ 3) กรณีที่ % Metal Concentration Reduction มีค่าสูงแสดงถึงสารทำความสะอาดและการล้างมือของผู้ปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพสูง จากภาพที่ 3 พบว่า ไม่ว่าคนงานจะล้างมือน้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก หรือสบู่ ค่า % Metal Concentration Reduction ของสารหนูส่วนใหญ่ < 0 % (77%, 65% และ 72 % ของตัวอย่างทั้งหมด ตามลำดับ) ในทางกลับกัน ค่า % Metal Concentration Reduction ทองแดงและตะกั่วส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0-50 % และมากกว่า 50% ซึ่งการล้างมือน้ำยาล้างจานทำให้ทองแดงลดลงมากที่สุดโดย % Metal Concentration Reduction ที่มากกว่า 50% (47% ของตัวอย่างทั้งหมด ในส่วนของตะกั่วค่า % Metal Concentration Reduction ที่มากกว่า 50% (100% ของตัวอย่างทั้งหมด) เมื่อล้างมือน้ำยาล้างจาน



ภาพที่ 2 ร้อยละของจำนวนตัวอย่างผู้ร้อยแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่พบ % Residual Metal น้อยกว่า 0% ระหว่าง 0 - 50% และมากกว่า 50%



ภาพที่ 3 ร้อยละของจำนวนตัวอย่างผู้ร้อยแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่พบ % Metal Concentration Reduction น้อยกว่า 0% ระหว่าง 0 - 50% และมากกว่า 50%



4.4 ประเมินความเสี่ยงของสารกลุ่มไม่ก่อมะเร็ง

ผลการประเมินความเสี่ยงของสารกลุ่มไม่ก่อมะเร็งดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ค่า 95% Confidence interval ของ HQ ของสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี จากการรับสัมผัสทางผิวหนังอยู่ในช่วง $0.263 - 0.530$, $1.00 \times 10^{-9} - 2.70 \times 10^{-9}$, $0.047 - 0.178$, $0.024 - 0.062$, $0.141 \times 10^{-3} - 1.02 \times 10^{-3}$ และ $0.005 - 0.017$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า HQ มีค่าแปรผันตรงกับค่า DAD เนื่องจากโลหะหนักแต่ละชนิดมีค่า RfD แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเป็นอันตรายของสาร แต่อย่างไรก็ตาม ค่า HQ ของโลหะหนักทุกชนิดมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณโลหะหนักที่ติดที่ผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานยังไม่เพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพ เมื่อคำนวณค่าความเสี่ยงของการสัมผัสโลหะทุกชนิดรวมกันด้วยค่า HI พบว่า มีค่า 95% Confidence interval อยู่ในช่วง $0.334 - 0.787$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเมื่อประเมินการรับสัมผัสจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ผ่านทางผิวหนังทั้งสองข้างตลอดช่วงระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร 30 ปี ตามข้อเสนอของ U.S.EPA (2009) ยังไม่เพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ตารางที่ 2 ค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารกลุ่มไม่ก่อมะเร็ง

โลหะหนัก	Mean of DAD (95% CI)	Mean of HQ (95% CI)	Mean of HI 95% CI
สารหนู	1.28×10^{-4} ($0.08 \times 10^{-3} - 1.59 \times 10^{-3}$)	0.397 (0.263 - 0.530)	
ตะกั่ว	9.62×10^{-5} ($0.51 \times 10^{-4} - 1.41 \times 10^{-4}$)	1.80×10^{-9} ($1.00 \times 10^{-9} - 2.70 \times 10^{-9}$)	
ทองแดง	1.12×10^{-6} ($0.47 \times 10^{-4} - 1.78 \times 10^{-6}$)	0.112 (0.047 - 0.178)	0.481 (0.342 - 0.619)
แคดเมียม	5.13×10^{-4} ($2.88 \times 10^{-4} - 7.38 \times 10^{-4}$)	0.043 (0.024 - 0.062)	
นิกเกิล	3.14×10^{-6} ($0.86 \times 10^{-6} - 5.53 \times 10^{-6}$)	5.82×10^{-4} ($0.14 \times 10^{-3} - 1.02 \times 10^{-3}$)	
สังกะสี	6.82×10^{-4} ($0.33 \times 10^{-3} - 1.04 \times 10^{-3}$)	0.011 (0.005 - 0.017)	



5. อภิปรายผล

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่เกาะติดบนมือของแรงงานสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้คือ สังกะสี > ทองแดง > ตะกั่ว > นิกเกิล > แคดเมียม > สารหนู ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Singh, Thind, & John (2018) ที่ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณใบหน้า มือ และแขน ของแรงงานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศอินเดีย ซึ่งพบความเข้มข้นของโลหะโดยเรียงลำดับได้ดังนี้คือ สังกะสี > ทองแดง > โคโรเนียม > ตะกั่ว > นิกเกิล > โคบอลต์ > แคดเมียม โดยกิจกรรมการรื้อแยกที่ประเทศอินเดียใช้การเผา ใช้กรดในการสกัด การทุบ แยกชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีบางกระบวนการที่คล้ายกับประเทศไทย เนื่องด้วยการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ของชุมชนที่ศึกษาใช้วิธีการทุบ แกะ เคาะ แยกเป็นหลัก และแต่ละคนทำงานกับหลากหลายชนิดผลิตภัณฑ์ จึงทำให้มีสัมผัสกับโลหะหนักหลากหลายชนิด เช่น การคัดแยกตู้เย็นสามารถตรวจพบได้ทั้ง ทองแดงและแคดเมียม การแยกชิ้นส่วนมอเตอร์ทำให้พบสารหนู ตะกั่ว ทองแดง และนิกเกิล และการแยกชิ้นส่วนโทรทัศน์ที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอนสามารถตรวจพบตะกั่ว นิกเกิล และสังกะสี เป็นต้น นอกจากนั้น การเผา สายไฟขนาดเล็กที่ได้แยกออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ สามารถพบทองแดงในปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบโลหะหนักที่พบในกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในการศึกษาครั้งนี้กับชนิดโลหะหนักที่วิเคราะห์ในชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ศึกษาโดย Robinson (2009) (ตารางที่ 3) พบว่า โลหะหนักที่ตรวจพบในกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับชนิดของโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ที่ Robinson (2009) รายงานไว้ ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี ในขณะที่สารหนูพบในกิจกรรมการคัดแยกแบตเตอรี่ และมอเตอร์ ซึ่งการศึกษาดังกล่าวไม่ได้ระบุว่าเป็นโลหะหนักที่พบในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใดเป็นการเฉพาะ แต่หากผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวนการเติมวัสดุซิลิคอนทำให้สามารถตรวจพบสารหนูได้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบชนิดโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นบนมือที่รื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์กับโลหะหนักในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

โลหะหนัก	ชิ้นงานที่ผู้ปฏิบัติงานรื้อแยกสัมผัส (การศึกษาครั้งนี้)	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่พบโลหะหนัก (Robinson, 2009)
สารหนู	แบตเตอรี่ มอเตอร์	ขั้นตอนการชุบซิลิคอน
ตะกั่ว	มอเตอร์ CRTs แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	การบัดกรี CRTs แบตเตอรี่
ทองแดง	ตู้เย็น มอเตอร์ เสาสายไฟ	สายไฟ
แคดเมียม	ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ พัดลม	แบตเตอรี่ ตลับหมึกพิมพ์ พลาสติก
นิกเกิล	มอเตอร์ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	แบตเตอรี่
สังกะสี	CRTs	CRTs ฮาร์ดดิสก์ แผ่นวงจรจอพลาสมา



จากผลการประเมินความเสี่ยงของการศึกษาครั้งนี้อาจต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากคนงานมีโอกาสสัมผัสโลหะหนักผ่านผิวหนังบริเวณส่วนอื่นของร่างกายได้ เช่น แขน ขา หัวเข่า ฝ่าเท้า หรือใบหน้า เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงของผู้รื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์กับอาชีพอื่นพบว่า การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสแบบเรียม แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล แมงกานีส และตะกั่ว ผ่านทางมือทั้งสองข้างของคนงานผลิตรูปในครัวเรือนหมู่บ้านงูเหลื่อม จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งพบว่ามีค่า HQ และ HI น้อยกว่า 1 เช่นกัน (Kaewrueng, Siriwong, & Siripanich, 2013) แต่สำหรับคนงานที่ทำงานในโรงหลอมพบว่า ค่า HI จากการสัมผัสแคดเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสี ทางผิวหนังของคนงานที่ทำงานในโรงหลอมโลหะ มีค่า 1.5 ซึ่งเกินเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (Wcislo, Loven, Kucharski, & Szdzuj, 2002) และมีความเสี่ยงสูงกว่าอาชีพรื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ประมาณ 3 เท่า นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงของผู้รื้อแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์กับค่าความเสี่ยงจากการสัมผัสโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีจากการสัมผัสดินและน้ำผิวดินผ่านทางผิวหนังในประเทศไต้หวันพบว่า ค่า HQ ของการประเมินความเสี่ยงทางผิวหนังต่ำกว่า 1 เช่นกัน (Lai, Hseu, Chen, Chen, Guo, & Chen, 2010)

เมื่อพิจารณาค่าความเสี่ยงที่เกิดจากการสัมผัสสารหนูซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น จึงได้นำข้อมูลการสังเกตเกี่ยวกับการสวมใส่ถุงมือของผู้คัดแยกมาวิเคราะห์ผลที่มีต่อการสัมผัสสารหนูเป็นหลัก ผลเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูที่ได้จากผู้คัดแยกทองแดงออกจากชิ้นส่วนของบัลลัสตระหว่างผู้คัดแยกที่สวมใส่ถุงมือ 2 ชั้น (ถุงมือยางและถุงมือผ้า) และที่ไม่สวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลใดๆ โดยทำงานในระยะเวลาใกล้เคียงกันพบว่า ค่าความเข้มข้นที่ตรวจพบบนมือของผู้ไม่สวมใส่อุปกรณ์ฯ (8.44 mg/kg ของตัวอย่าง W5) มีค่าสูงกว่าผู้ที่ใส่ถุงมือ 2 ชั้น (1.03 mg/kg ตัวอย่าง W6) ถึงประมาณ 8 เท่า แสดงให้เห็นว่าการสวมถุงมือที่เหมาะสมและทำด้วยวัสดุที่ป้องกันการสัมผัสกับฝุ่นหรือสารที่เกาะติดผิวหนังจะสามารถลดปริมาณการสัมผัสโลหะหนักได้

นอกจากนี้ ผู้คัดแยกควรคำนึงถึงผลกระทบต่อร่างกายโดยตรงจากการสัมผัสโลหะหนักผ่านทางผิวหนัง อาการที่ผู้คัดแยกสามารถสังเกตได้จากการสัมผัสโลหะหนักที่เลือกศึกษาครั้งนี้คือ การสัมผัสสารหนูทำให้เกิดการระคายเคือง ผิวหนัง ผิวหนังอักเสบ และหากสัมผัสเป็นระยะเวลานานจะส่งผลให้ผิวหนังหนาแข็งหรือเป็นแผลเรื้อรังได้ สำหรับแคดเมียมและนิกเกิลจะส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ส่วนตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีอาจไม่ได้มีอาการที่เห็นชัดทางผิวหนัง แต่จะส่งผลต่อระบบอื่นๆในร่างกาย เช่น เกิดอาการอาเจียน โลหิตจาง ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบทางเดินปัสสาวะ และระบบทางเดินอาหาร เป็นต้น



6. ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสผ่านมือทั้งสองข้างของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดที่จัดเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง ยังไม่พบโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ แต่ผู้คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ควรสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่เหมาะสม ผู้คัดแยกควรได้รับคำแนะนำการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ซึ่งถือเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับผู้ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยเน้นการป้องกันการสัมผัสโลหะหนักส่วนแขน ขา หัวเข่า ฝ่าเท้า หรือใบหน้า นอกเหนือจากการสวมถุงมือเพียงอย่างเดียว

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนทุนจากโปรแกรมวิจัยการจัดการขยะและของเสียอันตรายชุมชน ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ อิ่มยิ้ม คณะวิทยาศาสตร์ ในความอนุเคราะห์การใช้เครื่อง ICP-OES และขอขอบคุณอาสาสมัครที่เข้าร่วมสนับสนุนการเก็บตัวอย่างงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

8. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข, กรมอนามัย และกรมควบคุมโรค. (2557). *แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง กรณีขยะอิเล็กทรอนิกส์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. (2560). *การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: สุจิตรา วาสนาดำรงดี. (2558). สถานการณ์ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์. ใน *เอกสารประกอบการเสวนาวิชาการ เรื่อง “ขยะอิเล็กทรอนิกส์: จัดการอย่างไรให้ปลอดภัย”*. วันที่ 12 มิถุนายน 2558, กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Bi, X., Simoneit, B. R., Wang, Z., Wang, X., Sheng, G., & Fu, J. (2010). The major components of particles emitted during recycling of waste printed circuit boards in a typical e-waste workshop of South China. *Atmospheric Environment*, 44(35), 4440-4445.
- Deng, W. J., Louie, P. K. K., Liu, W. K., Bi, X. H., Fu, J. M., & Wong, M. H. (2006). Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM_{2.5} at an electronic waste recycling site in southeast China. *Atmospheric Environment*, 40(36), 6945-6955.
- Health Risk Assessment Guidance for Metals (HERAG). (2007). *Assessment of Occupational Dermal Exposure and Dermal absorption for Metals and Inorganic Compound. Occupational dermal exposure and dermal absorption*, HERAG.



- Kaewrueng, P., Siri Wong, W., & Siripanich, S. (2013). Risk assessment of heavy metal associated with dermal exposure in incense workers in small household factories at Roi-et province, Thailand. *Journal of Health Research*, 27(4), 217-223.
- Lai, H. Y., Hseu, Z. Y., Chen, T. C., Chen, B. C., Guo, H. Y., & Chen, Z. S. (2010). Health risk-based assessment and management of heavy metals-contaminated soil sites in Taiwan. *International journal of environmental research and public health*, 7(10), 3595-3614.
- Robinson, B. H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the total environment*, 408(2), 183-191.
- Singh, M., Thind, P.S., & John, S. (2018). Health risk assessment of the workers exposed to the heavy metals in e-waste recycling sites of Chandigarh and Ludhiana, Punjab, India. *Chemosphere*, 203, 426-433.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (1987). *Arsenic, inorganic*. Retrieved from: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0278_summary.pdf
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2009). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F) Final*. EPA-540-R-070-002. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Environmental Protection Agency. Washington, D.C., U.S.EPA.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2004). *Risk Assessment Guideline for Superfund Vol.1 Human Health Evaluation Manual (part E) Supplemental Guidance from Dermal Risk Assessment*. Washington, D.C., U.S.EPA.
- Wcisło, E., Ioven, D., Kucharski, R., & Szdzuj, J. (2002). Human health risk assessment case study: an abandoned metal smelter site in Poland. *Chemosphere*, 47(5), 507-515.