



การผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่น
และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์
ในประเทศไทย

Seasonal Variation of Heavy Metals (Pb, Cd, As and Cr) in Dust and
Health Risk Assessment in An E-waste Contaminated Area, Thailand

ยุทธนา หอมเกต
Yuttana Homket

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Management
Prince of Songkla University

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่น
และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน
ขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

Seasonal Variation of Heavy Metals (Pb, Cd, As and Cr) in Dust and
Health Risk Assessment in An E-waste Contaminated Area, Thailand

ยุทธนา หอมเกต
Yuttana Homket

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Management
Prince of Songkla University

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่น
และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์
ในประเทศไทย

ผู้เขียน นายยุทธนา หอมเกต
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก



Digitally signed : 2024.12.18 16:04:30 +07:00

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุซงญอ หมีนห่อ)

คณะกรรมการสอบ



Digitally signed : 2024.12.18 18:33:43 +07:00

ประธาน

(ดร.วิสาข์ สุพรรณไพบุลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



Digitally signed : 2024.12.18 16:04:33 +07:00

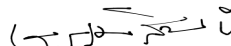
กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุซงญอ หมีนห่อ)



Digitally signed : 2024.12.18 16:20:39 +07:00

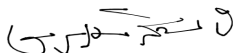
(ดร.นุชรินทร์ รามัญกุล)



Digitally signed : 2024.12.18 17:01:40 +07:00

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวียะ)



Digitally signed : 2024.12.18 17:01:37 +07:00

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวียะ)



Digitally signed : 2024.12.18 18:43:19 +07:00

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.คัมภีร์ พ่วงทอง)



Digitally signed : 2024.12.18 18:49:47 +07:00

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธินี สีนชก)



Digitally signed : 2024.12.18 18:59:23 +07:00

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ประดิษฐ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม



Digitally signed : 2024.12.20 8:46:40 +07:00

(ศาสตราจารย์ ดร.มิตรชัย จงเขียวขำนาญ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(2)

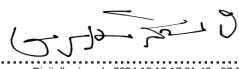
ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
Digitally signed : 2024.12.18 16:04:35 +07:00

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุซงญอ หมีนห่อ)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....
Digitally signed : 2024.12.18 16:20:41 +07:00

(ดร.นุจรีนทร์ รามัญกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ.....
Digitally signed : 2024.12.18 17:01:42 +07:00

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวิยะ)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ นายยุทธนา หอมเกตุ

นักศึกษา

(3)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายยุทธนา หอมเกตุ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่น และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย
ผู้เขียน	นายยุทธนา หอมเกตุ
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย รวมถึงการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนัก เก็บตัวอย่างฝุ่นจาก ห้องนอน ห้องนั่งเล่น และถนนหน้าบ้าน จำนวน 19 หลังคาเรือน ในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว โดยใช้เครื่องดูดฝุ่น วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดด้วยเครื่อง ICP-OES วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบความผันแปรตามฤดูกาลด้วยสถิติ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี LSD ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพการสัมผัสโลหะหนักที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายโดยช่องทางการกลืนกิน แบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทางการรับสัมผัส (HQ) คำนวณผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิด (HI) และความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง (ELCR)

ผลการศึกษาพบว่า ตะกั่วในฤดูร้อนของฝุ่นพื้นมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 192.44 mg/kg สำหรับฝุ่นถนน ตะกั่วมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในฤดูร้อน เท่ากับ 79.58 mg/kg การทดสอบความผันแปรตามฤดูกาล พบว่า ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว, แคดเมียม และโครเมียม ในฝุ่นพื้นแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกัน โดย ค่าตะกั่วฤดูร้อนกับฤดูฝน และฤดูฝนกับฤดูหนาว ค่าแคดเมียมฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว และค่าโครเมียมฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว มีความแตกต่างกัน ส่วนความผันแปรตามฤดูกาลของฝุ่นถนน พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าโครเมียมฤดูร้อนกับฤดูฝน และค่าแคดเมียมฤดูฝนกับฤดูหนาว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ พบว่า ค่า HQ เฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิดในกลุ่มเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง มีค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ($HQ < 1$) แต่เมื่อวิเคราะห์รายบ้าน พบว่า ค่าตะกั่วของเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิงบางหลัง พบค่าความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ($HQ > 1$) ส่วนค่า HI เด็กผู้ชาย และเด็กผู้หญิง มีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสาร ($HI > 1$)

ผลการประเมินการสัมผัสโครเมียม เด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิง มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง เท่ากับ 4.02×10^{-4} และ 4.53×10^{-4} เป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้

สำหรับมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยงของการได้รับโลหะหนักในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะต้องคำนึงถึงสภาพอากาศและภูมิอากาศตามฤดูกาล เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางลม ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้การปนเปื้อนของโลหะหนักแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล นอกจากนี้มาตรการอื่นๆ ได้แก่ การส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันตนเอง และกลยุทธ์การจัดการความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เน้นระบบการติดตามเฝ้าระวังเป็นพิเศษในกลุ่มเด็กซึ่งเป็นกลุ่มเปราะบางในการได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายโดยช่องทางการกลืนกินฝุ่น

คำสำคัญ : การผันแปรตามฤดูกาล, โลหะหนัก, การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ, ฝุ่น, ขยะอิเล็กทรอนิกส์

Thesis Title	Seasonal Variation of Heavy Metals (Pb, Cd, As and Cr) in Dust and Health Risk Assessment in An E-waste Contaminated Area, Thailand
Author	Mister Yuttana Homket
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2024

ABSTRACT

This study aims to investigate the seasonal variations of heavy metals (lead, cadmium, arsenic and chromium) in indoor and road dust sampled from an e-waste contaminated area in Thailand and to assess the associated health risks from exposure to lead, cadmium, arsenic and chromium. Dust samples were collected from bedrooms, living rooms and roads of all 19 individual households during the summer, rainy and winter seasons using vacuum cleaners. Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) was employed for measuring concentrations of the selected heavy metals in the collected samples. The data were analyzed descriptively using percentage, mean, and standard deviation (SD). Examining the significant differences in abundance of the heavy metals under different seasons by using one-way analysis of variance (ANOVA) and least significant difference (LSD). Moreover, the correlated health risks from heavy metal exposure via dust ingestion were assessed by calculating a hazard quotient (HQ) for individual metals, a cumulative hazard index (HI) for all metals, and an excess lifetime cancer risk (ELCR) for individual carcinogenic metals.

The results suggested that the highest lead level in indoor and road dust was both observed in summer, with an average of 192.44 mg/kg and 79.58 mg/kg, respectively. The ANOVA statistical analysis showed significant seasonal variations of lead, cadmium, and chromium contamination in indoor dust. In addition, the LSD indicated significant differences in abundance of lead, cadmium and chromium between summer and rainy season, and rainy and winter season. For road dust,

significant differences in chromium contents were found between summer and rainy season, while those in cadmium levels were seen between rainy and winter season.

Health risk assessment of indoor dust ingestion revealed that the average HQ values for all heavy metals in male children, female children, male adults and female adults were well within the acceptable level of risk to people exposed to the studied metals ($HQ \leq 1$). Nevertheless, the assessment of 19 individual houses demonstrated that male and female children were exposed above the acceptable risk values for lead ($HQ > 1$), indicating a health risk of lead exposure ($HI > 1$). According to the ELCR calculated for individual carcinogenic metals, male (4.02×10^{-4}) and female children (4.53×10^{-4}) were exposed above the acceptable cancer risk values for chromium ($> 10^{-4}$), implying a cancer risk of chromium exposure.

Weather and climate conditions (i.e. temperature, relative humidity, wind direction, wind speed and rainfall) influencing heavy metal pollution in different seasons, should be considered in the effective measures to minimize the health risk of heavy metals in e-waste contaminated areas. Other risk reducing measures include promotion of self-protective behaviors and health risk management strategies focus on special monitoring and surveillance systems for children who are particularly vulnerable to heavy metal exposure via dust ingestion.

Keyword : Seasonal Variation, Heavy Metals, Health Risk Assessment, Dust, E-waste

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.ดุขฎิ หมื่นห่อ อาจารย์ประจำคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้คอยชี้แนะแนวทางและความคิดเห็นให้กับผู้วิจัย รวมทั้งสละเวลาเข้ามาเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการวิจัยทุกกระบวนการ คอยช่วยเหลือ ติดตาม และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด และขอขอบคุณ ผศ.ดร.นพ.ธรรมสินธ์ อิงวิยะ อาจารย์ประจำคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ดร.นุจรินทร์ รามัญกุล จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ได้เป็นผู้ร่วมให้คำแนะนำในกระบวนการต่างๆ ของการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณคณะกรรมการทุกท่านในกระบวนการสอบวัดคุณสมบัติ สอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม อาจารย์และบุคลากรสถาบันนโยบายสาธารณะ และบุคลากรศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งได้ให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการศึกษาระดับปริญญาเอกของผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัว เครือญาติ เพื่อน ผู้ร่วมงาน กลุ่มตัวอย่างการวิจัย ผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ ในการสนับสนุนทุนบางส่วนเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ยุทธนา หอมเกตุ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	1
สารบัญตาราง.....	3
สารบัญรูป.....	10
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมาย ประเภท และสถานการณ์ขยะอิเล็กทรอนิกส์	6
2.2 วงจรผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	16
2.3 กฎหมายและนโยบายการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์	18
2.4 โลหะหนักที่สำคัญในขยะอิเล็กทรอนิกส์	21
2.5 การแปรสภาพและการเคลื่อนที่ของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม	29
2.6 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม	31
2.7 คุณสมบัติการก่อกัมเริงของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม	37
2.8 ปริมาณโลหะหนักที่ศึกษาที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)	41
2.9 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	44
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	53
2.11 กรอบแนวคิดการวิจัย	61
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 พื้นที่ศึกษา	62
3.2 ตัวอย่างที่ศึกษา	63
3.3 ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง	63
3.4 แบบสอบถาม	63

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย (ต่อ)	
3.5 วัสดุอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง	63
3.6 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	65
3.7 วิธีเก็บตัวอย่างฝุ่น	65
3.8 วิธีเตรียมตัวอย่างฝุ่น	65
3.9 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในสารละลายตัวอย่าง	69
3.10 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์	69
3.11 วิธีประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	70
3.12 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	73
3.13 การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง	74
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการศึกษา	
4.1 ข้อมูลทั่วไป	75
4.2 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นพื้น และฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะ อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	90
4.3 ผลการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะ อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	103
4.4 ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะ อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	105
4.5 ผลการประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนเนื่องจากการรับสัมผัส โลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน ขยะ อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	109
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	153
5.2 ข้อเสนอแนะ	156
บรรณานุกรม	160
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ 1 การเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้น	177
ภาคผนวก ข แบบสอบถามที่ 2 สุขศาสตร์ส่วนบุคคล	178
ประวัติผู้เขียน	183

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	สารอันตรายและโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
9	
ตารางที่ 2.2	มูลค่าการนำเข้าและส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565
12	
ตารางที่ 2.3	ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565
13	
ตารางที่ 2.4	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียมในสถานประกอบการ
35	
ตารางที่ 2.5	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียมในร่างกายมนุษย์
37	
ตารางที่ 2.6	คุณสมบัติก่อมะเร็งของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู โครเมียม แมงกานีส และทองแดง
40	
ตารางที่ 2.7	ค่าความชันของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ที่มีศักยภาพก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์โดยการกิน (Oral Slope Factor)
40	
ตารางที่ 2.8	ระดับการได้รับสารแคดเมียมที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)
42	
ตารางที่ 2.9	ระดับการได้รับสารหนูที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)
43	
ตารางที่ 2.10	ระดับการได้รับสารเฮกซะวาเลนต์โครเมียมที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)
43	
ตารางที่ 2.11	ปริมาณโลหะหนักที่ศึกษาที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)
44	
ตารางที่ 4.1	สภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างฝุ่นในแต่ละฤดูกาล
77	
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูลบ้านแต่ละหลังที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน
80	
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล
83	

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.4	พฤติกรรมการป้องกันตนเองจากสารปนเปื้อนที่เกิดจากการปฏิบัติงานจากการสังเกตพฤติกรรมช่วงระหว่างปฏิบัติงานร่วมกับการสอบถาม	85
ตารางที่ 4.5	การจัดการสภาพแวดล้อมในสถานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	86
ตารางที่ 4.6	ข้อมูลทั่วไปพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอน	87
ตารางที่ 4.7	ข้อมูลทั่วไปพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น	88
ตารางที่ 4.8	ผลการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์และร้อยละการคืนกลับ	91
ตารางที่ 4.9	ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	93
ตารางที่ 4.10	ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	94
ตารางที่ 4.11	ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	95
ตารางที่ 4.12	ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	96
ตารางที่ 4.13	ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	98
ตารางที่ 4.14	ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมและโครเมียมในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	99
ตารางที่ 4.15	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล	103
ตารางที่ 4.16	การทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	104

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.17	ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างค่าความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล ด้วยวิธี LSD	105
ตารางที่ 4.18	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล	105
ตารางที่ 4.19	การทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	106
ตารางที่ 4.20	ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างค่าความเข้มข้นของโครเมียมและแคดเมียมในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล ด้วยวิธี LSD	107
ตารางที่ 4.21	ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน)จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล	110
ตารางที่ 4.22	ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน)จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล	111
ตารางที่ 4.23	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน)จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล	112
ตารางที่ 4.24	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน)จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล	113
ตารางที่ 4.25	ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	115

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.37	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	131
ตารางที่ 4.38	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	133
ตารางที่ 4.39	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	134
ตารางที่ 4.40	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	135
ตารางที่ 4.41	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	136
ตารางที่ 4.42	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	138
ตารางที่ 4.43	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	139
ตารางที่ 4.44	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	140

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.45	ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	141
ตารางที่ 4.46	ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	143
ตารางที่ 4.47	ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	144
ตารางที่ 4.48	ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของผู้ใหญ่ผู้ชายและผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	145
ตารางที่ 4.49	ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง	147
ตารางที่ 4.50	ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง	148
ตารางที่ 4.51	ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง	149

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.52	
ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืน กินของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการ ปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บ ตัวอย่าง	150

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 มูลค่าการนำเข้าและส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของ ประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565	13
รูปที่ 2.2 ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565	14
รูปที่ 2.3 วงจรของผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย	17
รูปที่ 2.4 วัฏจักรของโลหะหนักในระบบนิเวศ	29
รูปที่ 2.5 วัฏจักรทางชีวธรณีเคมีของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม	30
รูปที่ 2.6 กระบวนการประเมินการสัมผัส	46
รูปที่ 2.7 กรอบแนวคิดการวิจัย	61
รูปที่ 3.1 แผนที่หลังคาเรือนและถนนหน้าบ้านที่ใช้เก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา	62
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นภายในอาคาร	66
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นถนน	67
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างฝุ่นเป็นสารละลายก่อนการวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนัก	68
รูปที่ 4.1 แผนที่ภูมิศาสตร์พื้นที่เก็บตัวอย่างวิจัยและทิศทางลมฤดูร้อน	78
รูปที่ 4.2 แผนที่ภูมิศาสตร์พื้นที่เก็บตัวอย่างวิจัยและทิศทางลมฤดูฝน	78
รูปที่ 4.3 แผนที่ภูมิศาสตร์พื้นที่เก็บตัวอย่างวิจัยและทิศทางลมฤดูหนาว	78
รูปที่ A QR code format thesis TH	184

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นเทคโนโลยีที่มีความเจริญก้าวหน้าและเติบโตอย่างรวดเร็วในระดับโลก เนื่องจากปัจจัยด้านการขยายตัวของเขตเมือง การเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ความล้ำสมัยของเทคโนโลยี นวัตกรรมใหม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และความต้องการของครัวเรือนเพิ่มขึ้น ปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้มีขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปี การบริโภคเครื่องใช้ไฟฟ้าและผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ก่อให้เกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยสารพิษหลายชนิดที่จะก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์จะต้องนำเข้าสู่กระบวนการกำจัดหรือรีไซเคิลที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ แต่กระบวนการดังกล่าวทุกประเทศส่วนใหญ่รวมทั้งประเทศไทยยังไม่มีแผนการรองรับที่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นการกำจัดหรือรีไซเคิลที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่สำคัญคือมีความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เนื่องจากในขยะอิเล็กทรอนิกส์มีส่วนผสมของสารอันตรายต่างๆ จำนวนมาก รวมทั้งโลหะหนักที่มีผลต่อสุขภาพโดยเฉพาะชนิดที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังเกี่ยวข้องกับประเด็นการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ทั้งประเด็นที่เกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น การจัดการน้ำ และสุขภาพ ความเป็นเมืองและถิ่นฐานมนุษย์ยั่งยืน การบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน รวมทั้งประเด็นที่เกี่ยวข้องกับด้านสุขภาพ ได้แก่ การมีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี การส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ต่อเนื่องครอบคลุมและยั่งยืน และการจ้างงานที่มีคุณค่า (Balde et al., 2017) ดังนั้นขยะอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นปัญหาสำคัญของทุกประเทศทั่วโลก

รายงานการเฝ้าระวังขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกประจำปี พ.ศ. 2563 (Forti et al., 2020) ของ United Nations University (UNU) และ International Solid Waste Association (ISWA) พบว่า ปี พ.ศ. 2562 ทั่วโลกมีการผลิตขยะอิเล็กทรอนิกส์ปริมาณทั้งสิ้น 53.6 ล้านเมตริกตัน ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ประมาณ 74 ล้านเมตริกตัน ในปี พ.ศ. 2573 และจะเพิ่มเป็น 120 ล้านเมตริกตันภายในปี พ.ศ. 2593 โดยประเด็นปัญหาที่สำคัญคือ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปรีไซเคิลเพียงร้อยละ 20 หรือประมาณ 8.9 ล้านเมตริกตัน ทวีปเอเชียก่อให้เกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุด (18.2 เมตริกตัน) รองลงมาคือทวีปยุโรป (12.3 เมตริกตัน) อเมริกา (11.3 เมตริกตัน) และแอฟริกา (2.2 เมตริกตัน) สำหรับประเทศไทย จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่า ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง จาก 384,233 ตัน เมื่อปี พ.ศ. 2558 (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) เป็น 414,600 ตัน ในปี พ.ศ. 2561 (กรมควบคุมมลพิษ, 2562ก) ส่วนปี พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้นเป็น 421,335 ตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2563ก) แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากครัวเรือนทั่วไป มากถึงร้อยละ 82

กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข สํารวจแหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ประเทศไทยมีชุมชนที่เป็นแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า 100 แห่ง ครอบคลุมพื้นที่ 17 จังหวัด กระจายอยู่ทุกภูมิภาค พื้นที่ที่มีชุมชนประกอบอาชีพคัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงสุด ได้แก่ ตำบลโคกสะอาด อำเภอขุขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ รองลงมาคือพื้นที่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ และอำเภอฟุไธสง จังหวัดบุรีรัมย์ แต่การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ของทุกพื้นที่ทั้งภาครัฐและเอกชน ยังขาดระบบการบริหารจัดการที่ดีตั้งแต่กระบวนการเก็บรวบรวม การคัดแยกหรือถอดแยก การขนส่ง การรีไซเคิล และการกำจัด เช่น ยังไม่มีระบบการเก็บหรือเรียกคืนซากผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย จนกลายเป็นภาระให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่เหมาะสม จากขั้นตอนการคัดแยก รื้อ และถอดชิ้นส่วน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม ทั้งการปนเปื้อนของสารอันตราย/โลหะหนักชนิดต่างๆ เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท สารหนู โครเมียม ทองแดง และแมงกานีส สู่สิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ สูดหายใจโลหะหนักดังกล่าวก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (Babu et al., 2007; กรมควบคุมโรค, 2560)

การศึกษาเกี่ยวกับการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศอินเดียและประเทศจีน พบว่า ทุกกระบวนการในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก และสารอันตรายที่เป็นพิษจำนวนมากในสิ่งแวดล้อม ทั้งในสถานที่ทำงาน ดิน น้ำ อากาศ ฝุ่น และระบบนิเวศ (Brigden et al., 2005) โลหะหนักเป็นโลหะที่คงทนในสิ่งแวดล้อมและสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นทั่วโลกจึงมีการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Gil et al., 2011; Wang et al., 2011; Foroughi et al., 2011; Zubero et al., 2010; Rawat et al., 2009; Deng et al., 2006; Miretzky et al., 2004; Li et al., 2001) ฝุ่นเป็นตัวอย่างสิ่งแวดล้อมที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม (Leung et al., 2008) เนื่องจากองค์ประกอบของฝุ่นที่ตกลงสู่พื้นเหมือนกับอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ดังนั้น จึงสามารถใช้ฝุ่นที่ตกลงสู่พื้นเป็นตัวบ่งชี้มลพิษ รวมทั้งการปนเปื้อนของโลหะหนักในอากาศได้ (Akhter and Madany, 1993) นอกจากนี้องค์ประกอบของโลหะหนักในฝุ่นที่ตกสู่พื้นยังสะท้อนถึงลักษณะของกิจกรรมทั้งในระยะสั้นและระยะยาวที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นด้วย (Banerjee, 2003)

มนุษย์สามารถสัมผัสกับโลหะหนักในฝุ่นที่ตกลงสู่พื้นผ่านช่องทางต่างๆ ทั้งการหายใจ การกลืนกิน และการสัมผัสทางผิวหนัง (Leung et al., 2008) มีการคาดการณ์ว่าในสภาพแวดล้อม

ที่เต็มไปด้วยฝุ่นที่ตกลงสู่พื้นผู้ใหญ่สามารถกลืนกินได้ถึง 50 มิลลิกรัมต่อวัน ส่วนเด็กจะกลืนกินได้สูงถึงประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อวัน (Jones-Otazo et al., 2005) ซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมการใช้มือหยิบจับสิ่งของเข้าปาก (Tong and Lam, 1998, 2000; Lanphear & Roghmann, 1997) การได้รับโลหะหนักในปริมาณสูงสามารถก่อให้เกิดพิษทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง เช่น เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย ระบบไหลเวียนเลือด ปอด ตับ ไต และถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Leung et al., 2008; กรมควบคุมมลพิษ, 2551ข; Babu et al., 2007) ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นที่แตกต่างกัน เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพที่แตกต่างกันด้วย อีกทั้งความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่นก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง คือ สภาพภูมิอากาศหรือฤดูกาล โดยจะมีผลต่อการแพร่กระจายและการปนเปื้อนของโลหะหนักเป็นอย่างมาก (Zheng et al., 2016)

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักที่สำคัญ (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่น ตลอดจนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ข้อค้นพบที่ได้จะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากในประเทศไทยยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และความเสี่ยงต่อสุขภาพค่อนข้างน้อย ดังนั้นผลการศึกษาที่เกิดขึ้นทำให้ทราบรูปแบบการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม และสามารถกระตุ้นให้หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ จัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อกำหนดยุทธศาสตร์ระดับชาติในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนอนามัยสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นและความเสี่ยงต่อสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนาข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และความเสี่ยงต่อสุขภาพในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) ของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

3. เพื่อประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนเนื่องจากการรับสัมผัสโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากบ้านที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว มีความแตกต่างกัน

2. ฝุ่นถนนในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม)

3. ปริมาณสารการสัมผัสของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) ของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นรวมทั้งประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นภายในบ้านจากห้องนอน และห้องนั่งเล่น สำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นถนนจะทำการเก็บจากถนนหน้าบ้านหลังคาเรือนเดียวกับบ้านที่ทำการเก็บฝุ่นพื้นภายในบ้าน ซึ่งการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บ 3 ฤดูกาล ตัวอย่างแต่ละฤดูกาลจะเก็บจากบริเวณพื้นที่เดียวกัน ตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนดังกล่าวจะนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES รุ่น Avio 500 เพื่อหาปริมาณโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และ โครเมียม (Cr) ผลที่ได้จะนำมาศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักที่ศึกษา ตลอดจนการประเมินการสัมผัสโลหะหนักทางการกลืนกิน การประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (Cancer Risk) และการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายอื่นๆ นอกจากโรคมะเร็ง (Non-cancer Risk) ของประชาชนในพื้นที่คัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาข้อเสนอเชิงนโยบายในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ระยะเวลาการศึกษาระหว่างเดือนตุลาคม 2562-เดือนธันวาคม 2567

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน
2. ข้อมูลความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น
3. หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ใช้เป็นฐานข้อมูลในการจัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อกำหนดยุทธศาสตร์ในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนอนามัยสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการวิจัยในอนาคตเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสารพิษชนิดอื่นๆ ในฝุ่นพื้น

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน ความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนาข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักที่ศึกษา ซึ่งผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยครอบคลุมเนื้อหา ดังต่อไปนี้

2.1 ความหมาย ประเภท และสถานการณ์ขยะอิเล็กทรอนิกส์

ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ เป็นสิ่งที่อำนวยความสะดวกให้กับบุคคลในสังคมปัจจุบัน ประกอบกับประชากรในสังคมมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมักให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีใหม่ จึงส่งผลให้มีการผลิตวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าสู่ตลาดจำนวนมาก ดังนั้น ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงกลายเป็นสินค้าที่ร้อนสืบทอดอายุเฉลี่ยการใช้งานสั้นลง จนในที่สุดกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก ต้องนำเข้าสู่กระบวนการกำจัดหรือรีไซเคิล แต่กระบวนการดังกล่าวในทุกประเทศส่วนใหญ่รวมทั้งประเทศไทยยังไม่มีแผนการรองรับที่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นการกำจัดหรือรีไซเคิลที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและที่สำคัญก็คือมีความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เนื่องจากในขยะอิเล็กทรอนิกส์มีส่วนผสมของสารอันตรายต่างๆ จำนวนมาก รวมทั้งโลหะหนักที่มีผลต่อสุขภาพทั้งก่อให้เกิดมะเร็งและก่อให้เกิดโรคต่างๆ นอกจากนี้ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังมีส่วนต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป้าหมายสำคัญเกี่ยวกับการปกป้องสิ่งแวดล้อม จำนวน 4 ประเด็น ประกอบด้วย เป้าหมายที่ 6 การจัดการน้ำและระบบสุขาภิบาล เป้าหมายที่ 11 การพัฒนาเมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์อย่างยั่งยืน และเป้าหมายที่ 12 การบริโภคและการผลิตอย่างยั่งยืน รวมทั้งเป้าหมายที่ 3 ประเด็นเกี่ยวกับระบบสุขภาพและความปลอดภัย และเป้าหมายที่ 8 การจ้างงานที่มีคุณค่า ส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน (Baldé et al., 2017) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์มีความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพตลอดจนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมเป็นอย่างมาก

2.1.1 ความหมายและประเภทของขยะอิเล็กทรอนิกส์

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Waste: E-waste) หรือซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Waste from Electrical and Electronic Equipment: WEEE) หมายถึง เครื่องใช้หรืออุปกรณ์ที่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กในการทำงานที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน หรือหมดอายุการใช้งานกลายเป็นซาก หรือล้าสมัย

สหภาพยุโรป (European Union: EU) กำหนดระเบียบซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ครอบคลุมผลิตภัณฑ์ 10 กลุ่ม (EU, 2003a; 2003b) ได้แก่

- 1) เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ในครัวเรือน เช่น ตู้เย็น เครื่องทำความเย็น และเครื่องซักผ้า
- 2) เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กในครัวเรือน เช่น เตารีด เครื่องดูดฝุ่น และหม้อหุงข้าว
- 3) อุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology: IT) เช่น โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ และคอมพิวเตอร์
- 4) เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับทั่วไป เช่น วิทยุ โทรทัศน์
- 5) อุปกรณ์ให้แสงสว่าง เช่น หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
- 6) อุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์
- 7) เครื่องมือวัดหรือควบคุมต่างๆ เช่น เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และเครื่องจับควัน
- 8) ของเล่นประเภทที่ใช้ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์
- 9) เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับงานช่าง เช่น สว่าน และเลื่อยไฟฟ้า
- 10) เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ เช่น เครื่องจำหน่ายเครื่องดื่มอัตโนมัติ

มหาวิทยาลัยสหประชาชาติ (United Nations University: UNU) (Balde et al., 2015) จัดกลุ่มขยะอิเล็กทรอนิกส์ ออกเป็น 6 กลุ่ม คือ

- 1) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนอุณหภูมิหรืออุปกรณ์ทำความเย็นและแช่แข็ง อุปกรณ์ทั่วไปรวมถึงตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ และปั๊มความร้อน
- 2) หน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น โทรทัศน์ จอภาพ โน้ตบุ๊ก และแท็บเล็ต
- 3) หลอดไฟ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดความเข้มสูง และหลอดไฟ LED (Light Emitting Diode)
- 4) อุปกรณ์ขนาดใหญ่ เช่น เครื่องซักผ้า เครื่องอบผ้า เครื่องล้างจาน เต้าไฟฟ้า เครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่ อุปกรณ์ถ่ายเอกสาร และแผงโซลาร์เซลล์

5) อุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น เครื่องดูดฝุ่น ไมโครเวฟ เครื่องปั๊มยาง กัดน้ำไฟฟ้า เครื่องโกนหนวดไฟฟ้า เครื่องชั่ง เครื่องคิดเลข วิทยุ กล้องวิดีโอ ของเล่นไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์การแพทย์ และเครื่องมือตรวจสอบและควบคุมขนาดเล็ก

6) อุปกรณ์ไอทีและโทรคมนาคมขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) เครื่องคิดเลขพกพา อุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่าย (Routers) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และโทรศัพท์

ขยะอิเล็กทรอนิกส์จัดอยู่ในประเภทขยะหรือของเสียอันตราย เนื่องจากมีทั้งโลหะหนักและสารอันตรายหลายชนิดปนอยู่ หรือมีลักษณะอย่างหนึ่งอย่างใด ตามนิยามของขยะหรือของเสียอันตราย (Hazardous Waste) คือ เศษสิ่งเหลือใช้หรือเสื่อมสภาพหรือภาชนะบรรจุภัณฑ์ประเภทใดๆ ที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมี หรือปนเปื้อนสารอันตรายชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดรวมกัน คุณสมบัติที่สำคัญของของเสียอันตราย ประกอบด้วย การติดไฟ (Flammability) การระเบิด (Explosiveness) ความเป็นพิษ (Toxicity) การระคายเคืองหรือการแพ้ (Irritation or Sensitization Potential) การทำปฏิกิริยา (Reactivity) การติดเชื้อ (Infectiousness) การกัดกร่อน (Corrosivity) การก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Potential for Genetic Change) และเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) เป็นต้น สารอันตรายดังกล่าวจึงอาจเป็นสาเหตุหรือเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยอย่างรุนแรงหรือเกิดความพิการ อาจถึงขั้นเสียชีวิต รวมทั้งเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การบริหารจัดการที่ถูกต้องเหมาะสมคือ การบำบัด การเก็บกัก การขนส่ง และการกำจัดที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ (กรมควบคุมมลพิษ, 2562ก)

สารประกอบที่พบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งโลหะหนักและสารอันตรายต่างๆ เมื่อถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม สารอันตรายและโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างๆ ตามตารางที่ 2.1 (สุจิตรา วาสนาดำรงดี, 2558; สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, 2559) ดังนี้

ตารางที่ 2.1 สารอันตรายและโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

สารอันตรายและโลหะหนัก	องค์ประกอบของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
โพลีโบรมิเนต ไดฟีนิล อีเธอร์ (Polybrominated Diphenyl Ethers: PBDEs), โพลีโบรมิเนตไบฟีนิล (Polybrominated Biphenyls: PBBs) เตตระโบรมโอบีฟีนอลเอ (Tetrabromobisphenol-A: TBBPA)	ผสมในพลาสติกเพื่อเป็นสารหน่วงการติดไฟ (Flame Retardants)
โพลีคลอรีเนตไบฟีนิล (Polychlorinated Biphenyls: PCBs)	คอนเดนเซอร์ (เครื่องควบแน่น), หม้อแปลงไฟฟ้า
คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon: CFC)	สารทำความเย็นและน้ำมันในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ โฟมฉนวนกันความร้อนในตู้เย็น (รุ่นเก่า)
โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs)	กระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์
ไดออกซิน (Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins: PCDDs) ฟิวแรน (Polychlorinated Dibenzofurans: PCDFs)	กระบวนการเผาไหม้ชิ้นส่วนพลาสติกที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ
อะเมริซิยม (Americium: Am)	เครื่องตรวจจับควันชนิดไอออนไนเซชัน
พลวง (Antimony: Sb)	สารหน่วงการติดไฟ, พลาสติก, แผ่นวงจร, จอ Cathode Ray Tube (CRT), จอ Liquid Crystal Display (LCD), ชิ้นส่วนในคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์และโทรศัพท์มือถือ
สารหนู (Arsenic: As)	แผงวงจรไฟฟ้าของโทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์, จอ CRT, LCD และพลาสมา
แบเรียม (Barium: Ba)	จอโทรทัศน์แบบ CRT, LCD, พลาสมา
แบริลเลียม (Beryllium: Be)	วงจรเรียงกระแสที่ควบคุมด้วยซิลิคอน (Siliconcontrolled Rectifiers), แผ่นวงจร, สายไฟ

ตารางที่ 2.1 สารอันตรายและโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ต่อ)

สารอันตรายและโลหะหนัก	องค์ประกอบของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
แคดเมียม (Cadmium: Cd)	แบตเตอรี่, แผงวงจร, ชิ้นส่วนพลาสติก, โทนาเนอร์
โครเมียม (Chromium: Cr)	คอมพิวเตอร์, แผงวงจร, จอ CRT, จอ LCD, จอพลาสมา
ทองแดง (Copper: Cu)	ระบบสายไฟ, แผงวงจร, จอโทรทัศน์แบบจอ CRT, โรเตอร์หรือตัวหมุนในมอเตอร์
แกเลียม (Gallium: Ga)	สารกึ่งตัวนำ
อินเดียม (Indium: In)	จอโทรทัศน์แบบ LCD, แผงวงจร
ตะกั่ว (Lead: Pb)	แบตเตอรี่, จอโทรทัศน์แบบ CRT และ LCD, แผงวงจร, โลหะบัดกรี, ฮาร์ดดิสก์
ลิเทียม (Lithium: Li)	แบตเตอรี่
ปรอท (Mercury: Hg)	หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์, แบตเตอรี่, สวิตช์, หน้าจอ LCD, แผงวงจร
นิกเกิล (Nickel: Ni)	แบตเตอรี่, จานเล่นแผ่นซีดี, ฮาร์ดดิสก์, หน้าจอ LCD, แผงวงจร
ซีเลเนียม (Selenium: Se)	แผงวงจร, วงจรเรียงกระแส (Rectifier)
เงิน (Silver: Ag)	หน้าจอ LCD, แผงวงจร, โลหะบัดกรี, สวิตช์, ลวดสายไฟ
ดีบุก (Tin: Sn)	โลหะบัดกรี, หน้าจอ LCD
สังกะสี (Zinc: Zn)	หน้าจอ CRT และ พลาสมา, ฮาร์ดดิสก์, แผงวงจร
แมงกานีส (Manganese: Mn)	แผงวงจร
แร่ธาตุหายาก (Rare Earth Elements)	หน้าจอ CRT, แผงวงจร

ที่มา: Townsend, 2011.

2.1.2 สถานการณ์ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์

1) สถานการณ์ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ

ทั่วโลกมีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แต่มีวิธีการกำจัดที่ไม่ปลอดภัย ต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ทั้งวิธีการฝังกลบ การเผา อีกทั้งการคัดแยกส่วนประกอบที่ไม่ได้มาตรฐาน อาจทำให้สารอันตรายจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอากาศ น้ำ ฝุ่น และดิน ตามรายงานการเฝ้าระวังขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกประจำปี พ.ศ. 2563 (Forti et al., 2020) ของ UNU และ ISWA พบว่า ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 53.6 ล้าน เมตริกตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2559 ที่มีเพียง 44.7 ล้านเมตริกตัน เพิ่มขึ้นคาดการณ์ว่าปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์จะเพิ่มขึ้นเป็น 74 และ 120 ล้านเมตริกตัน ในปี พ.ศ. 2573 และ 2593 ตามลำดับ โดยประเด็นปัญหาที่สำคัญคือ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นมีเพียงร้อยละ 20 ที่ถูกนำไปรีไซเคิล

ขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แต่มีการกำจัดในปริมาณน้อย รวมทั้งการจัดการที่ไม่เหมาะสมและไม่ปลอดภัยจะก่อให้เกิดความเสี่ยงที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนของผู้ใช้และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วที่ขับเคลื่อนนวัตกรรมและการพัฒนาทางสังคมและเศรษฐกิจ ส่งผลให้ขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว อาทิเช่น ประชากรทั่วโลกเกือบครึ่งหนึ่งเข้าถึงระบบเทคโนโลยี หลายคนมีอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมากกว่าหนึ่งเครื่อง รวมทั้งอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่ทันสมัยซึ่งมีการผลิตออกวางจำหน่ายต่อเนื่องส่งผลให้ขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มมากขึ้น โดยเฉลี่ยแต่ละคนจะสร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์ประมาณ 7.3 กิโลกรัมต่อปี (Forti et al., 2020)

ปี พ.ศ. 2562 พบว่า ขยะอิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นในทวีปเอเชียสร้างมากที่สุด (24.9 ล้านเมตริกตัน) รองลงมาคือ สหรัฐอเมริกา (13.1 ล้านเมตริกตัน) ทวีปยุโรป (12 ล้านเมตริกตัน) และกลุ่มประเทศแอฟริกา (2.9 ล้านเมตริกตัน) ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ของแต่ละประเทศจะมีความสัมพันธ์กับประเด็นด้านกฎหมายในระดับประเทศที่เกี่ยวกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ ตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงกระบวนการจัดการเมื่อผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ สัดส่วนของขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกส่วนใหญ่เกิดจากอุปกรณ์ขนาดเล็ก (ร้อยละ 32.46) รองลงมาคือ อุปกรณ์ขนาดใหญ่ (ร้อยละ 22.44) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ร้อยละ 20.15) หน้าจออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (ร้อยละ 12.50) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก (ร้อยละ 8.77) และหลอดไฟ (ร้อยละ 3.68) (Forti et al., 2020)

2) สถานการณ์ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

การสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่า ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในปี พ.ศ. 2562-2565 เท่ากับ 421,335, 428,113, 435,187 และ 439,495 ตัน/ปี ตามลำดับ แต่ละปีมีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากครัวเรือนทั่วไปหรือชุมชน คิดเป็นร้อยละ 82 (กรมควบคุมมลพิษ, 2566ก, 2566ข)

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรและเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น จากดัชนีผลผลิตมูลค่าการนำเข้าและมูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า หากมีมูลค่าการนำเข้าและในอนาคตการส่งออกปริมาณมาก ปริมาณขยะจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำเข้าสูงสุด ประกอบด้วย แผงสวิตช์และแผงควบคุมกระแสไฟฟ้า เครื่องอุปกรณ์สำหรับป้องกันวงจรไฟฟ้าและส่วนประกอบ ส่วนการส่งออกสินค้าที่มีฐานการผลิตในประเทศไทย ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า และแผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น ในด้านของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการนำเข้าสูงสุด คือ เครื่องโทรศัพท์และอุปกรณ์ ส่วนการส่งออกสินค้าที่มีฐานการผลิตในประเทศไทย คือส่วนประกอบและอุปกรณ์ประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ วงจรรวม และเครื่องโทรศัพท์และอุปกรณ์ เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2566)

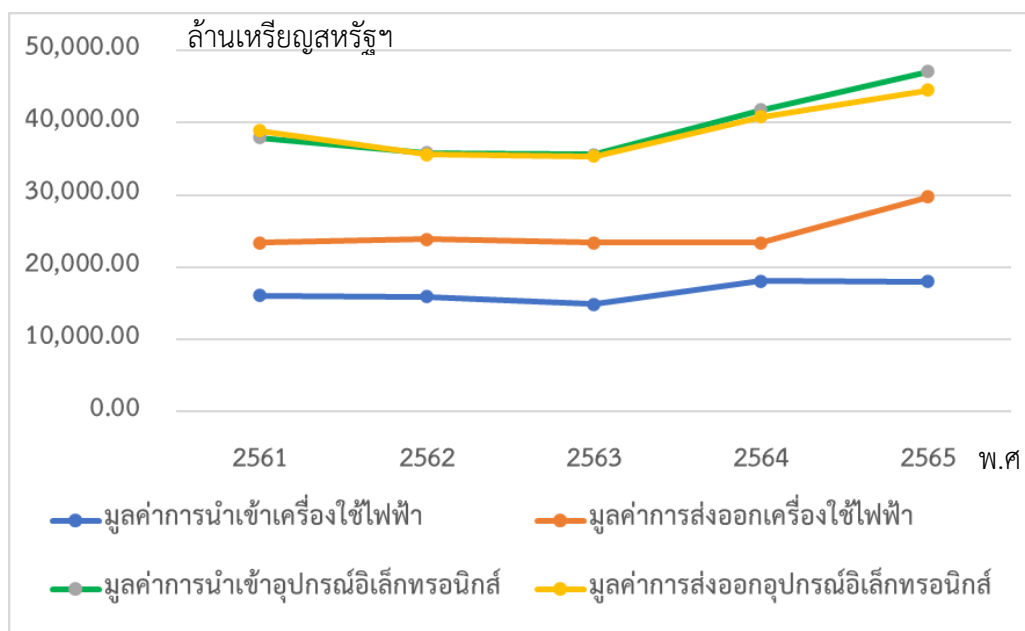
ข้อมูลมูลค่าการนำเข้าและมูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 มูลค่าการนำเข้าและส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565

ปี พ.ศ.	มูลค่าการนำเข้าและส่งออก (ล้านเหรียญสหรัฐฯ)			
	เครื่องใช้ไฟฟ้า		อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	
	มูลค่านำเข้า	มูลค่าส่งออก	มูลค่านำเข้า	มูลค่าส่งออก
2561	16,062.4	23,371.7	37,915.9	38,841.5
2562	15,936.0	23,899.1	35,799.9	35,620.3
2563	14,863.1	23,379.2	35,548.0	35,317.6
2564	18,050.1	23,356.7	41,768.4	40,773.5
2565	17,980.7	29,701.9	47,033.3	44,458.2
รวม	82,892.3	123,708.6	198,065.5	195,011.1

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2566, 2565, 2564, 2563.

รูปที่ 2.1 มูลค่าการนำเข้าและส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565



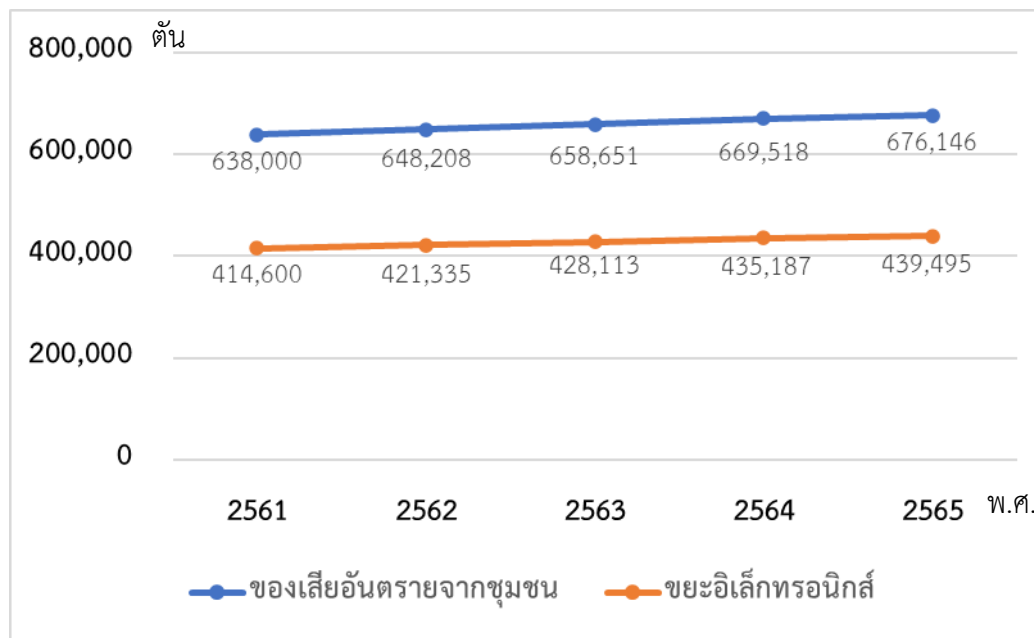
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2566, 2565, 2564, 2563.

ตารางที่ 2.3 ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565

ปี พ.ศ.	ปริมาณ (ตัน)		
	ของเสียอันตรายจากชุมชน	ขยะอิเล็กทรอนิกส์	
		จำนวน	ร้อยละ (คิดจากของเสียอันตรายจากชุมชนทั้งหมด)
2561	638,000	414,600	64.98
2562	648,208	421,335	64.98
2563	658,651	428,113	65.00
2564	669,518	435,187	65.00
2565	676,146	439,495	65.00
รวม	3,290,523	2,138,730	65.00

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2566, 2565, 2564, 2563ก, 2562ก.

รูปที่ 2.2 ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2565



ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2566, 2565, 2564, 2563ก, 2562ก.

ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2561-2565 สํารวจโดย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่า ขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ มาจากชุมชนซึ่งจัดเป็นของเสียอันตรายจากชุมชน ข้อมูลตามตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.2

2.1.3 สถานการณ์การจัดการซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย

ปี พ.ศ. 2557 กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข สํารวจแหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ผลการสํารวจพบว่า ประเทศไทยมีชุมชนมากกว่า 100 แห่ง ในพื้นที่ 17 จังหวัด ที่เป็นแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยพื้นที่ที่มีการประกอบอาชีพคัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงสุด ได้แก่ พื้นที่ตำบลโคกสะอาด อำเภอหนองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ รองลงมาพื้นที่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ และอำเภอยุทธศาสตร์ จังหวัดบุรีรัมย์ ขณะที่พื้นที่จัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์มีจำนวนมาก แต่ระบบบริหารจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังค่อนข้างเป็นปัญหาอย่างมาก ตั้งแต่กระบวนการเก็บรวบรวม คัดแยก ขนส่ง รีไซเคิล และการกำจัด เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องรับภาระในการจัดการ สถานที่กำจัดที่ได้มาตรฐานและระบบจัดการอย่างถูกต้องยังมีจำนวนน้อย ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคกลาง อีกทั้งยังมีการทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ปะปนกับขยะทั่วไป ร้านรับซื้อของเก่ามีการซื้อขายอย่างอิสระ และประเด็นสำคัญคือผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีสอง

รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานไม่ได้ มีการลักลอบนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อนำมาจัดการหรือรีไซเคิล โดยส่งไปให้ชุมชนคัดแยกเพื่อนำโลหะและส่วนที่เป็นประโยชน์ไปขาย ส่วนขยะถูกนำไปทำลาย โดยการเผาหรือฝังกลบอย่างไม่ถูกวิธี หรือลักลอบทิ้งในสถานที่ต่างๆ การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม ทั้งการปนเปื้อนของสารอันตรายหรือโลหะหนักสู่ดิน น้ำ และอากาศ ที่เกิดจากขั้นตอนการคัดแยก รื้อ และถอดชิ้นส่วน สำหรับกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ประกอบด้วย ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท สารหนู โครเมียม ทองแดง และแมงกานีส ซึ่งโลหะหนักดังกล่าวมักก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่แหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2560)

กรมควบคุมมลพิษ สรุปภาพรวมปัญหาการจัดการซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2560) ไว้ดังนี้

- 1) ขาดระบบการบริหารจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ดี ทั้งกระบวนการจัดการเก็บ การคัดแยก การขนส่ง การรีไซเคิล และการกำจัดที่ถูกต้อง
- 2) กฎหมายมีข้อจำกัดด้านกฎระเบียบและแนวทางการปฏิบัติเพื่อการจัดการซากผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) การจัดการซากผลิตภัณฑ์ยังไม่มีระบบการจัดเก็บค่าธรรมเนียมที่มีประสิทธิภาพ
- 4) การรณรงค์และประชาสัมพันธ์สร้างองค์ความรู้ ความเข้าใจ และความตระหนักในการมีส่วนร่วมจัดการซากผลิตภัณฑ์อย่างถูกต้องให้กับประชาชนและผู้ประกอบการทุกระดับไม่มีความต่อเนื่อง
- 5) พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างจริงจัง โดยเฉพาะองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นยังไม่มีระบบควบคุมระบบการคัดแยก เก็บขน และเก็บกัก เนื่องจากยังขาดทรัพยากรที่จะนำมาจัดบริการจัดการให้เกิดประสิทธิภาพ
- 6) โรงงานที่มีกระบวนการคัดแยก ถอดแยก บำบัด กำจัด หรือ รีไซเคิล แบบครบวงจรมีจำนวนน้อย ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก ดังนั้นการขนส่งจึงมีต้นทุนสูง ไม่เอื้ออำนวยต่อการดำเนินการ
- 7) ประเทศไทยยังไม่มีระบบหรือกลไกการรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ที่แน่นอน ทำให้ภาคเอกชนไม่มีแรงจูงใจในการลงทุนดำเนินการ
- 8) การคัดแยกชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ และการกำจัดไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ รวมทั้งไม่มีระบบการป้องกันอันตราย เสี่ยงต่อการปนเปื้อนหรือแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อม
- 9) ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มือสอง หรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานไม่ได้แล้ว มีการลักลอบนำเข้ามาจากต่างประเทศเพื่อนำมาจัดการหรือรีไซเคิลอย่างไม่ถูกต้อง

10) มีการผลิตและนำเข้าสินค้าคุณภาพต่ำ ราคาถูก ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งจะกลายเป็นซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้ในระยะเวลานั้น

2.2 วงจรผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 วงจรผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย

วงจรผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย แบ่งออกได้เป็น 2 ประเด็นหลัก คือ ประเด็นการนำเข้าวัตถุดิบมาผลิตสินค้าแล้วส่งออกและบริโภคภายในประเทศ และประเด็นการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสินค้าใหม่และสินค้ามือสอง ดังนั้นขยะอิเล็กทรอนิกส์จึงเกิดขึ้นจาก 3 แหล่งหลัก (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2560; ชมพูนุท พรหมภักดี, 2555) ดังนี้

1) ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปลดปล่อยสารเคมีหรือเศษเหลือทิ้งระหว่างการผลิตสินค้า รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาแล้วแต่ไม่ได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ทำให้ต้องนำเข้าสู่กระบวนการแก้ไขใหม่ บางส่วนนำไปรีไซเคิล และบางส่วนถูกนำไปทำลายทิ้ง

2) ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มาจากกระบวนการใช้งานในระดับครัวเรือน หรือสถานประกอบการ ส่วนใหญ่เป็นขยะที่มาจากชุมชนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้งานจนหมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ หรือการลัดวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำให้ไม่สามารถแก้ไขให้กลับมาใช้งานได้เหมือนเดิม หรือไม่คุ้มค่ากับการซ่อมบำรุง

3) ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกขนย้ายหรือนำเข้ามาจากต่างประเทศ ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

วงจรผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ กิจกรรมหลักเริ่มจากผู้ผลิตตัวแทนจำหน่าย ผู้บริโภค และซ่อม ร้านขายสินค้ามือสองส่งต่อสินค้าชำรุด หรือของเสียจากกระบวนการผลิต หรือขยะอิเล็กทรอนิกส์ ให้กับร้านซ่อม ผู้รับซื้อของเก่า/ผู้คัดแยก หรือโรงงานรีไซเคิล หรือบริษัทกำจัดขยะ เมื่อดำเนินการซ่อม หรือคัดแยกชิ้นส่วนหรือรีไซเคิลแล้ว ชิ้นส่วนที่ใช้ได้นำกลับไปขายต่อเพื่อสร้างรายได้ แต่วัสดุเหลือใช้หรือของเสียที่เกิดขึ้น ถูกส่งไปบริษัทกำจัดขยะ หรือทิ้งให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือกรุงเทพมหานครเก็บรวบรวม จัดการโดยวิธีการ/ศักยภาพของแต่ละพื้นที่ รวมทั้งการส่งไปยังบริษัทฝังกลบหรือโรงงานเผาขยะ ซึ่งแต่ละกระบวนการอาจเกิดการรั่วไหลของสารอันตรายและโลหะหนักตกค้างในสิ่งแวดล้อม ทั้งผิวดิน ฝุ่น แหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน หรือในบรรยากาศ บางกรณีมีการเผาทำลายก่อให้เกิดควันพิษ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและระบบนิเวศต่อไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) วงจรของผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยได้สรุปไว้ในรูปที่ 2.3

ระบบการควบคุมมลพิษจากกระบวนการทั้งหมดของการรีไซเคิลชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยระบบต่างๆ ทั้งระบบดักจับฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย ระบบดักจับกรดที่ฟุ้งกระจาย และระบบบำบัดน้ำเสียจากทุกกระบวนการก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายสำหรับการจัดการเศษซากหรือขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะ รวมทั้งยังไม่มีกฎหมายครอบคลุมทั้งการส่งคืนเศษซากหรือขยะอิเล็กทรอนิกส์ให้กับบริษัทผู้ผลิตหรือจำหน่ายเพื่อการจัดการที่ถูกต้อง ดังนั้น การปฏิบัติตามกระบวนการรีไซเคิลที่ถูกวิธีตามคำแนะนำของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จึงพบได้น้อยในประเทศไทย นอกจากนี้บริษัทที่ดำเนินการอย่างถูกต้องยังมีจำนวนน้อยและมักกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ภาคกลางเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการคัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจึงเป็นการดำเนินการในระดับครัวเรือนหรือกิจการเล็กๆ ประกอบกิจการเพื่อรายได้เป็นหลัก ไม่ได้คำนึงหรือตระหนักถึงผลกระทบต่างๆ ที่จะตามมา กระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำเป็นส่วนใหญ่จึงมีเพียงแค่ขั้นตอนการคัดแยกเอาชิ้นส่วนต่างๆ วัสดุอุปกรณ์ และโลหะมีค่านำไปใช้ประโยชน์ ทั้งส่วนที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ปะปนกับขยะทั่วไป และกระบวนการคัดแยกไม่มีการควบคุมที่ดีทั้งฝุ่นกรด และสารอันตรายต่างๆ ตลอดจนไม่มีการบำบัดที่ถูกวิธีก่อนการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2.3 กฎหมายและนโยบายการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์

ปัจจุบันขยะอิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นปัญหาของทุกประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนาและประเทศด้อยพัฒนา ทั้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเอง การรับซื้อสินค้ามือสอง และการลักลอบนำเข้าจากประเทศที่พัฒนาแล้ว เป็นต้น หลายประเทศพยายามบริหารจัดการเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยการบริหารจัดการของแต่ละประเทศมีกฎหมายและกฎระเบียบเพื่อควบคุมซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ดังต่อไปนี้

2.3.1 กฎหมายเกี่ยวกับการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างประเทศ

1) อนุสัญญาบาเซล โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (The United Nation Environment Programme: UNEP) (UNEP, 2019a, 2017)

อนุสัญญาว่าด้วยการควบคุมการเคลื่อนย้ายและการกำจัดของเสียอันตรายข้ามแดน เพื่อลดการเคลื่อนย้าย ป้องกันการถ่ายโอน การควบคุมการนำเข้า การส่งออก และนำผ่านของเสียอันตรายจากประเทศพัฒนาแล้วไปยังประเทศด้อยพัฒนาให้น้อยที่สุด เน้นการบำบัดและกำจัดของเสียอันตรายใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด และลดการก่อกำเนิดของเสียอันตรายทั้งเชิงปริมาณและความเป็นอันตราย ตระหนักถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับประเทศสมาชิกเกี่ยวกับความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่มีสาเหตุสำคัญมาจากของเสียอันตรายและของเสียประเภทอื่น

รวมทั้งเพื่อการป้องกันการขนส่งที่ผิดกฎหมายและเป็นการช่วยเหลือกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการของเสียอันตราย โดยคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์

2) พิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer)

สนธิสัญญาสากลที่ใช้บรรณคดีควบคุม ยับยั้ง ลดการผลิต พร้อมทั้งลดการใช้สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน เพื่อคงสภาพและรักษาชั้นบรรยากาศโอโซนที่กำลังถูกทำลายและเริ่มจะสูญสลายไป จนได้รับการยกย่องให้เป็นตัวอย่างความร่วมมือระหว่างประเทศในการแก้ไขปัญหาในระดับนานาชาติ ประเทศที่ลงนามในสัญญายินยอมที่จะดำเนินการจำกัดการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารกลุ่มคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon: CFC) ประกอบอยู่ (UNEP, 2019b)

2.3.2 กฎหมายและนโยบายการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ของต่างประเทศ

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยสารอันตรายและโลหะหนักมากกว่า 20 ชนิด ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ (Robinson, 2009) หากไม่ได้รับการจัดการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการจะก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบทั้งสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่ถูกจัดการโดยกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยหรือชาวบ้าน อีกทั้งแรงงานส่วนใหญ่ไม่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment: PPE) ทำให้ต้องเผชิญอยู่กับสารอันตรายและโลหะหนักดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ที่ผ่านมามีหลายประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะกลุ่มประเทศสมาชิกอนุสัญญาบาเซลให้ความสำคัญถึงปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวทางการจัดการเพื่อเป็นการลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์และป้องกันปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตทั้งในรูปแบบของการออกกฎหมาย การสร้างจิตสำนึก การขยายความรับผิดชอบเพิ่มขึ้นของผู้ผลิต และการควบคุมกำกับกับการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (EU, 2003a, 2003b, 2011, 2017; Patil and Ramakrishna, 2020; Chaudhary and Vrat, 2018; Baldé et al., 2017; สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, 2557)

2.3.3 กฎหมายและนโยบายการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

1) กฎหมายที่เกี่ยวข้อง กฎหมายเกี่ยวกับการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยอยู่ในช่วงของการดำเนินการ แต่มีกฎหมาย/พระราชบัญญัติ หรือระเบียบอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการจัดการของเสียอันตรายและการดำเนินกิจการอุตสาหกรรม รวมถึงกฎหมายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่สำคัญหลายฉบับ อาทิเช่น พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 (พระราชบัญญัติการ

สาธารณสุข พ.ศ. 2535, 2535) พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ 8) พ.ศ. 2562 (พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ 8) พ.ศ. 2562, 2562) หรือ พระราชบัญญัติการส่งออกป็นอกและการนำเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2558 (พระราชบัญญัติการส่งออกป็นอกและการนำเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2558, 2558) เป็นต้น

2) การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย มีการจัดทำนโยบาย มาตรการนำเข้าและส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551ข; สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, 2559; สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2552) จัดตั้งศูนย์กำจัดและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550; กรมควบคุมมลพิษ, 2562ข) การจัดกิจกรรมสร้างความตระหนัก ปลุกจิตสำนึก เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ (สำนักสิ่งแวดล้อม, 2556; ปารีชาติ แจ่มเจริญ, 2557)

3) มาตรการบริหารจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายของรัฐบาล สมัย พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี กำหนดแนวทางการดำเนินงานทั้งระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว โดยการแต่งตั้งคณะทำงานจัดการปัญหาทุกระดับ จัดทำมาตรการส่งเสริม ป้องกัน และแก้ไขปัญหา ออกกฎระเบียบ ข้อบัญญัติท้องถิ่น และออกกฎหมายด้านการจัดการซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ให้เป็นไปตามหลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

4) ยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ พ.ศ. 2557–2564 เพื่อจัดการระบบการกำจัดซากผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม และถูกวิธี (กรมควบคุมมลพิษ, 2558ข)

5) ร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. เพื่อให้เกิดระบบการจัดการซากผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอ้างอิงหลักการสร้างจิตสำนึกการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนโดยเฉพาะภาคประชาชนควบคู่กับหลักการความรับผิดชอบต่อที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2563ข; สุพัทธ์ธดา เปล่งแสง, 2562; สภานิติบัญญัติแห่งชาติ, 2561, 2563)

2.4 โลหะหนักที่สำคัญในขยะอิเล็กทรอนิกส์

ขยะอิเล็กทรอนิกส์มีสารอันตรายและโลหะหนักต่างๆ หลายชนิด เมื่อมีการกำจัดหรือคัดแยกไม่ถูกวิธีจะมีการรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อม จากการทบทวนผลการศึกษาโลหะหนักในขยะอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 8 ผลงาน ที่มีการเก็บตัวอย่างทั้งจากตัวบุคคลและสิ่งแวดล้อม ในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย พบว่า โลหะหนักที่สำคัญซึ่งมักพบค่าเกินมาตรฐานในตัวอย่่างบุคคลและสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม โดยโลหะหนักแต่ละชนิดมีรายละเอียด ดังนี้

2.4.1 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่ว (Lead) สัญลักษณ์ทางเคมีคือ Pb มีเลขอะตอมเท่ากับ 82 มวลอะตอมเท่ากับ 207.20 g/mol ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (°C) เท่ากับ 11.34 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลวอยู่ที่อุณหภูมิ 327 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่ออกไซด์ของตะกั่วจะมีสีเหลืองหรือสีส้ม ส่วนไดออกไซด์มีสีเทาหรือดำ ตะกั่วมีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อถูกความร้อนจะขยายตัวได้มากขึ้น มีความเหนียวสูง แต่มีความแข็งแรงต่ำ ด้านทานการกัดกร่อนได้ดี มีความหล่อลื่นในตัวเอง ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้า ใช้ผสมกับโลหะต่างๆ ได้เป็นโลหะผสม (Alloys) หลายชนิด สารประกอบของตะกั่วละลายได้ดีในกรดไนตริก และกรดกำมะถันร้อน แต่ส่วนมากไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้เล็กน้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1) สารประกอบของตะกั่วและการใช้ประโยชน์

- โลหะตะกั่ว ผลิตจากแร่ตะกั่ว ใช้ในอุตสาหกรรม ทำหัวขั้วสะพานไฟหม้อแบตเตอรี่ ทุ้มสายเคเบิล สายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ และอุปกรณ์ป้องกันรังสีจากเครื่องเอกซเรย์ เป็นต้น
- สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (Inorganic Lead Compound) ใช้ในอุตสาหกรรม การผลิตสี แบตเตอรี่ การผลิตยาง พลาสติก การผลิตเครื่องสำอาง ครีมใส่ผม เป็นต้น
- สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Organic Lead Compound) ใช้ในอุตสาหกรรม การผลิตแลคเกอร์ น้ำมันหล่อลื่น และสี เป็นต้น

2) การรับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย (วิวัฒน์ เอกบุรณวัฒน์ และ สุทธิพัฒน์ วงศ์วิทย์โชติ, 2556)

- ระบบทางเดินอาหาร โดยการกินอาหารหรือดื่มน้ำที่ปนเปื้อนตะกั่ว ตะกั่วละลายได้มากที่สุดที่กระเพาะอาหาร เนื่องจากน้ำย่อยซึ่งเป็นกรดจะช่วยละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้นมาก ซึ่งจะทำให้เยื่อในระบบต่างๆ ของระบบทางเดินอาหารเกิดการระคายเคือง จนเกิดอาการอักเสบเป็นแผล และอาจมีอาการคลื่นไส้อาเจียน ตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น มีเพียงบางส่วนที่จะหลุดปะปนออกมากับอุจจาระ ในผู้ใหญ่ร่างกายสามารถดูดซึมตะกั่วจากระบบทางเดินอาหารได้ประมาณร้อยละ 11 ส่วนในเด็กดูดซึมได้ประมาณร้อยละ 30-75 โดยเฉพาะในกลุ่ม

เด็กที่ขาดสารอาหาร ขาดธาตุเหล็ก ขาดธาตุแคลเซียม หรือการรับประทานเข้าไปพร้อมกับการรับประทานอาหารมันๆ จะเพิ่มการดูดซึมตะกั่วได้ดียิ่งขึ้น

- ระบบทางเดินหายใจ มักได้รับตะกั่วในรูปของไอตะกั่วและฝุ่นตะกั่ว โดยการผ่านเข้าสู่ปอดโดยตรง หากไอตะกั่วที่ได้รับเข้าไปมีความเข้มข้นสูงสามารถทำให้ลำคออักเสบ ไอ แน่นและปวดแสบหน้าอก หายใจลำบาก จากนั้นตะกั่วจะเข้าสู่กระแสเลือดและแพร่ไปอวัยวะต่างๆ ระบบทางเดินหายใจสามารถดูดซึมตะกั่วได้ประมาณร้อยละ 50

- ทางผิวหนัง กระบวนการซึมผ่านผิวหนังต้องมีน้ำเข้าช่วยจึงจะสามารถซึมได้และจะต้องเป็นตะกั่วในรูปอินทรีย์ที่สามารถที่จะดูดซึมผ่านผิวหนังในสภาวะปกติได้ แต่หากเป็นตะกั่วในรูปอนินทรีย์จะถูกดูดซึมได้เฉพาะบริเวณผิวหนังที่มีบาดแผลโดยอาศัยการจับตัวกับน้ำเหลืองหรือเลือด โดยทั่วไปตะกั่วอนินทรีย์ไม่ก่อให้เกิดอันตราย แต่สำหรับบางรายที่มีภูมิไวต่อตะกั่วมักเกิดอาการแพ้ มีผื่นแดง และอาจจะมีอาการปวดร้อนได้เช่นกัน

ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายสามารถขับออกทางปัสสาวะได้ประมาณร้อยละ 76 ทางอุจจาระประมาณร้อยละ 16 และทางเหงื่อประมาณร้อยละ 8 ส่วนที่เหลือจะไปสะสมในอวัยวะต่างๆ

3) กลไกการก่อโรค

ตะกั่วเป็นพิษ เป็นโรคที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมที่สามารถพบได้บ่อยที่สุด ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในเด็ก โดยมักได้รับตะกั่วจากเศษสีที่หล่น อากาศ น้ำ หรืออาหาร อาการเป็นพิษจะเกิดเมื่อร่างกายมีการสะสมตะกั่วสูงเกินปริมาณที่สามารถก่อให้เกิดพิษได้

- ผลต่อสมองและเซลล์ประสาท ตะกั่วจะจับกับเซลล์แทนที่แคลเซียม ซึ่งหากมีตะกั่วในเลือดเพิ่มขึ้นทุก 10 mcg/dL มีผลทำให้ Intelligence Quotient (IQ) ลดลง 1-3 จุด

- ผลต่อเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดแดงสามารถแตกง่ายก่อให้เกิดโรคโลหิตจาง และมีผลต่อการทำงานของไต

- ผลต่อภาวะตั้งครรภ์และทารกในครรภ์ กรณีที่หญิงตั้งครรภ์ได้รับตะกั่วปริมาณมาก อาจเกิดภาวะแท้งหรือคลอดก่อนกำหนดได้ รวมทั้งเด็กแรกคลอดจะมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติ พัฒนาการล่าช้า ปัญญาอ่อน ซัก การตรวจเลือดมารดาพบว่า หากมากกว่า 20 mcg/dL จะเกิดความเสี่ยงต่อทารก โดยขนาดที่เป็นพิษจะมีค่าเท่ากับ 20-25 mcg/dL

4) อาการจากพิษตะกั่ว

โดยทั่วไปไม่มีลักษณะอาการเฉพาะ อาการแสดงน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอายุ ปริมาณ และระยะเวลาที่ได้รับตะกั่ว บางรายที่ได้รับตะกั่วอาจจะไม่แสดงอาการใดๆ แต่บางรายเริ่มมีปัญหาเกี่ยวกับการปวดท้อง ปวดศีรษะ และการเรียนรู้ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กที่ได้รับตะกั่วต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน และตะกั่วถูกสะสมในร่างกายในปริมาณสูงมักจะมีอาการชัก ต่อมาเริ่มมีอาการรุนแรงและเสียชีวิตในที่สุด ส่วนผู้ใหญ่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคความดันโลหิตสูงและมีผลใน

การทำลายระบบอวัยวะสืบพันธุ์ ประสิทธิภาพการทำงานลดลง ไม่กระตือรือร้น แสดงพฤติกรรมแปลกๆ อาเจียน และชักได้ สำหรับผู้ป่วยในบางรายอาจแสดงอาการเบื่ออาหาร ปวดมวนท้อง ท้องผูก และบางครั้งอาเจียนร่วมด้วย

2.4.2 แคดเมียม (Cd)

แคดเมียม (Cadmium) มีสัญลักษณ์ทางเคมี Cd มีประจุบวก 2 เลขอะตอมเท่ากับ 48 มวลอะตอมเท่ากับ 112.40 g/mol ความถ่วงจำเพาะ 8.65 จุดหลอมเหลว 321.07 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 767 องศาเซลเซียส เป็นธาตุทรานซิชันอยู่ในกลุ่ม IIB ตามตารางธาตุแร่โลหะหนัก เป็นธาตุมีพิษ โลหะสีเงินขาวแวววาวเป็นสีน้ำเงินจางๆ หรือเป็นผงเม็ดละเอียดสีเทา ไม่มีกลิ่น พบในธรรมชาติในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ มักพบร่วมกับสังกะสี และทองแดง สามารถทำปฏิกิริยาเคมีอย่างรุนแรงกว่าสารที่ให้ออกซิเจน ทนต่อการสีกกร่อนได้ดี (ATSDR, 2011; กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1) ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ จำนวนมาก ทั้งการชุบเคลือบโลหะให้ผิวโลหะเงางาม ไม่เกิดสนิม และทนต่อการกัดกร่อน เช่น อุปกรณ์รถยนต์ต่างๆ น็อต และสกรู เป็นต้น ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องบิน วิทยุ โทรทัศน์ ตู้เย็น ใช้ผลิตเป็นอุปกรณ์ที่ต้องทนต่อความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์เครื่องเย็นต่างๆ ที่ต้องระบายความร้อน เป็นต้น

2) การรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย (วิวัฒน์ เอกบุรณะวิวัฒน์ และ สุทธิพัฒน์ วงศ์วิจิตร, 2556)

- ระบบทางเดินอาหาร ส่วนใหญ่ร่างกายได้รับแคดเมียมผ่านระบบทางเดินอาหาร ทั้งการรับประทานอาหารและดื่มน้ำที่ปนเปื้อน

- ระบบทางเดินหายใจ ได้รับจากการหายใจรับเศษไอ ละอองฝอย หรือฝุ่นที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในอากาศ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่การทำเหมืองแร่ เป็นต้น

- ทางผิวหนัง การดูดซึมแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังพบค่อนข้างน้อย

3) กลไกการก่อโรค

แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจสามารถจะก่อให้เกิดพิษได้มากกว่า 60 เท่าของช่องทางระบบทางเดินอาหาร การหายใจรับไอระเหย ฝุ่น ของแคดเมียมเข้าสู่ปอด อาจเกิดภาวะปอดอักเสบ ปอดบวม น้ำ และเลือดออกในปอด ส่วนการรับประทานจะทำให้เกิดการระคายเคืองตลอดเส้นทางของระบบทางเดินอาหาร เมื่อแคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะไปรวมตัวกับ Metallothionein เกิดการกรองผ่านไต ไตทำงานผิดปกติ การสะสมของแคดเมียมในร่างกายเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งปอด มะเร็งไต มะเร็งต่อมลูกหมาก เป็นต้น

4) อาการจากพิษแคดเมียม

- เกิดการระคายเคืองผิวหนัง และตา หากสัมผัสกับแคดเมียมโดยตรง

- เมื่อได้รับแคดเมียมในปริมาณที่สูงกว่ามาตรฐานกำหนดสามารถก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ภายในระยะเวลา 12–24 ชั่วโมง เช่น อาการไอ หายใจติดขัดและมีเสียง ปวดศีรษะ มีไข้ ปอดอักเสบ และปอดบวม เป็นต้น

- การหายใจรับแคดเมียมเป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอด

- การรับประทานสามารถทำให้เกิดพิษแบบเฉียบพลัน เกิดอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องอย่างรุนแรง ถ่ายอุจจาระเหลวเป็นน้ำปนเลือด เนื่องจากภาวะการระคายเคืองและเกิดการอักเสบของอวัยวะในระบบทางเดินอาหาร ในบางรายที่มีอาการรุนแรงอาจเกิดภาวะช็อกเนื่องจากภาวะขาดน้ำ ทำให้ถึงขั้นไตวายเฉียบพลันจนเสียชีวิตได้

- แคดเมียมสามารถถูกสะสมในกระดูกได้หากได้รับในระยะยาวมีผลให้เกิดโรคอิไตอิไต (Itai-itai) หรือกลุ่มโรคของอาการกระดูกเปราะ หักง่าย มีอาการเจ็บปวดกระดูกทั่วร่างกาย และเกิดภาวะโรคไตเสื่อมในที่สุด

2.4.3 สารหนู (As)

สารหนู (Arsenic) สัญลักษณ์ทางเคมี As น้ำหนักอะตอม 74.92 ความดันไอ ประมาณ 1 mmHg (อุณหภูมิ 372 องศาเซลเซียส) เป็นธาตุบริสุทธิ์ ลักษณะโลหะมันวาว ค่อนข้างเปราะง่าย สีเทาเงิน มีวาเลนซ์ที่สำคัญคือ 3 (Trivalent Arsenic: As III) และ 5 (Pentavalent Arsenic: As V) สารประกอบของสารหนู (Amorphous Form) ส่วนใหญ่มักมีลักษณะเป็นผงหรือผลึกที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส บางครั้งอยู่ในรูปของผงสีเทาดำ เมื่อออกซิเจนไปสัมผัสกับผิวสีมันวาวจะกลายเป็นสีดำด้าน ส่วน Arsenic Trichloride และ Arsenic Acid อยู่ในรูปของเหลวคล้ายน้ำมัน (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2541)

1) สารประกอบของสารหนูและการใช้ประโยชน์

- สารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู (Inorganic Form) พบในอุตสาหกรรม การผลิตวัสดุต่างๆ ผสมอยู่กับโลหะตัวอื่นๆ อาจพบในน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูด้วย และสามารถพบได้ในดินและสายแร่ เช่น Arsenopyrite (FeAsS) และ Loellingite (FeAs_2) เป็นต้น เมื่อผ่านกระบวนการถลุงเสร็จจะได้เป็นแร่อาร์ซีนิกที่ไม่มีความเป็นพิษ และ Arsenic Trioxide ที่ปะปนกับฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อมได้ สารหนูอนินทรีย์แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารประกอบเวเลนซ์ 3 (Trivalent Compound) และสารประกอบเวเลนซ์ 5 (Pentavalent Compound) สารหนูที่อยู่ในรูปของสารประกอบเวเลนซ์ 3 และเวเลนซ์ 5 ส่วนใหญ่มักถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง ยาเบื่อหนู สารเคมีถนอมหนังสัตว์ อุตสาหกรรมแก้ว กระบวนการผลิตอัลลอยด์แบตเตอรี่ ที่หุ้มสายเคเบิล ผสมในสี ใช้ฟอกหนัง ใช้เป็นส่วนประกอบของสารถนอมไม้หรือรักษาเนื้อไม้ ผงซักฟอก หรือยาบางชนิด ด้านการก่อพิษ พบว่า สารหนูอนินทรีย์เวเลนซ์ 5 มีความเป็นพิษเฉียบพลันน้อยกว่าสารหนูอนินทรีย์ชนิดเวเลนซ์ 3

- สารประกอบอินทรีย์ของสารหนู (Organic Form) สารหนูอินทรีย์ชนิดเวเลนซ์ 3 (Trivalent: As^{3+}) มักถูกใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช ส่วนสารหนูอินทรีย์ชนิดเวเลนซ์ 5 (Pentavalent: As^{5+}) มักถูกนำไปใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตโดยผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงไก่และสุกร

- ประเภทก๊าซ สารหนูที่อยู่ในรูปก๊าซคือ Arsine หรือ Arsenic Hydride (AsH_3) เป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษสูง ไม่มีสี ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์กับ Nascent Hydrogen หรือ Metallic Arsenide ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี แต่ในแอลกอฮอล์และต่างทำปฏิกิริยาได้เพียงเล็กน้อย ก๊าซอาร์ซีน (Arsine) ใช้มากในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

2) การได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกาย (วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์, 2562)

- ระบบทางเดินหายใจ เป็นช่องทางหลักของการรับสารหนูเข้าสู่ร่างกาย โดยร่างกายจะได้รับสารหนูผ่านการหายใจเอาฝุ่นหรือดินที่ปนเปื้อนสารหนู ซึ่งขนาดและชนิดของสารหนูที่ปนเปื้อนในฝุ่นมีผลต่อความสามารถในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย

- ระบบทางเดินอาหาร เข้าสู่ร่างกายจากการดื่มน้ำและรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารหนู ทั้งพืช ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะในกลุ่มสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง หอย และปลา เป็นต้น บริเวณปากและกระเพาะอาหารจะดูดซึมสารหนูได้น้อย แต่บริเวณลำไส้เล็กจะดูดซึมได้ดี แต่การดูดซึมในระบบทางเดินอาหารขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของสารหนูชนิดนั้นๆ ด้วย

- ทางผิวหนัง สารหนูที่เป็นส่วนประกอบในยารักษาโรคหรือยากำจัดศัตรูพืชสามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้

- สารหนูสามารถซึมผ่านไปยังทารกในครรภ์ทำให้เกิดการถ่ายทอดพิษของสารหนูผ่านจากมารดาสู่ทารกในครรภ์ได้

3) กลไกการก่อโรค

สารหนูถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดไประบบต่างๆ สารหนูอนินทรีย์วาเลนซ์ 3 เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปยับยั้งเอนไซม์ในระดับเซลล์ โดยเข้าไปจับกับ Sulfhydryl Groups ภายในเซลล์ (ในกระบวนการ Cell Respiration, Glutathione Metabolism และการซ่อมแซม DNA) ส่วนการเข้าสู่ร่างกายของสารหนูอนินทรีย์วาเลนซ์ 5 และแก๊ส Arsine จะเปลี่ยนเป็นวาเลนซ์ 3 ทำให้เกิดกลไกเช่นเดียวกับสารหนูอนินทรีย์วาเลนซ์ 3 จากนั้นจะถูกเผาผลาญเป็น Monomethylarsonic Acid และ Dimethylarsinic Acid สุดท้ายจะถูกขับออกทางปัสสาวะ และอุจจาระ การได้รับสารหนูในวันแรกๆ ร่างกายสามารถขับออกได้ประมาณร้อยละ 25 และภายในระยะเวลา 12 วันต่อมา ร่างกายจะขับออกมาเรื่อยๆ ทางปัสสาวะและอุจจาระ แต่การขับสารหนูออกทางลมหายใจจะเกิดขึ้นน้อยมาก สารหนูที่ถูกขับออกไม่หมดจากร่างกาย ส่วนใหญ่จะไปสะสมอยู่ที่ เล็บ เส้นผม และกระดูก

4) อาการจากพิษสารหนู

อาการจากพิษสารหนูเกิดขึ้นได้ทั้งอาการแบบเฉียบพลัน อาการเรื้อรัง ดังนี้

- การได้รับสารหนูผ่านระบบทางเดินหายใจ อาจทำให้เกิดการระคายเคืองเยื่อทางเดินหายใจส่วนต้น อาการไอ เจ็บคอ หายใจลำบาก คออักเสบ ปอดบวม น้ำ จุนอาจถึงขั้นระบบทางเดินหายใจล้มเหลวได้ บางรายผนังกันโพรงจมูกเป็นแผลหรือทะลุ รวมทั้งก่อให้เกิดพิษแบบ Systemic ได้ด้วย

- การได้รับสารหนูผ่านระบบทางเดินอาหาร อาการแสดงที่ชัดเจนคือ แสบริมฝีปาก ร่วมกับหายใจมีกลิ่นคล้ายกระเทียม รู้สึกตึบในลำคอ กลืนลำบาก ต่อมาอาจปวดท้องรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียนพุ่ง ถ่ายอุจจาระปนเลือดหรือเป็นน้ำขาวขาว อาการต่างๆ อาจเกิดขึ้นภายใน 30 นาที หรือเป็นชั่วโมง นอกจากนี้ยังเกิดพิษแบบ Systemic ได้ด้วย

- การสัมผัสทางผิวหนังและดวงตา ก่อให้เกิดอาการเฉียบพลัน เช่น การระคายเคือง ผิวหนังถูกกัดกร่อนจนเกิดผื่นตามตัว ผิวหนังอักเสบ กรณีสารหนูวาเลนซ์ 3 ซึ่งละลายในไขมันได้ดี จะถูกดูดซึมผ่านผิวหนัง ทำให้เกิดพิษแบบ Systemic ได้ด้วย การสัมผัสดวงตาจะถูกกัดกร่อนอย่างมากมีผลทำให้เกิดอาการระคายเคือง เยื่อบุตาอักเสบ ตาสู้แสงไม่ได้ หรือมองภาพไม่ชัด ส่วนอาการเรื้อรังที่สามารถพบได้บ่อยที่สุด ได้แก่ ผิวหนังบริเวณฝ่ามือและฝ่าเท้าหนาและแข็ง (Hyperkeratosis) หรือเป็นลักษณะคล้ายหูด เรียกว่า Arsenical Keratoses บางรายเป็นแผลเรื้อรังหรือพบก้อนที่ผิวหนัง ซึ่งอาจก่อเป็นรอยโรคมะเร็งผิวหนังชนิดต่างๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถพบลักษณะของผิวหนังเป็นสีเข้มขึ้นมีลักษณะสีคล้ายทองแดง กระจายทั่วไปสลับกับสีผิวที่อ่อนกว่าปกติ บริเวณเล็บอาจมีลักษณะเปราะ และมีขีดขาว (Mee's Line) บางรายอาจแสดงอาการผมร่วงได้

- พิษแบบ Systemic คือ อาการผิวหนังเย็นขึ้น กล้ามเนื้อเป็นตะคริว กระหายน้ำเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำและเกลือแร่ หรือสูญเสียเลือด อาจรุนแรงถึงขั้นช็อกได้ เมื่อตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ อาจพบลักษณะหัวใจเต้นเร็วผิดปกติโดยเฉพาะหัวใจห้องล่าง รายที่เป็นรุนแรงอาจมีอาการชักถึงขั้นโคม่า และเสียชีวิตได้ภายใน 24 ชั่วโมง แต่สำหรับรายที่พ้นช่วงวิกฤตจากภาวะฉุกเฉินอาจมีความผิดปกติของเส้นประสาทส่วนปลายตามมา ซึ่งมักจะเกิดขึ้นหลังจากนั้นหลายสัปดาห์ โดยมีลักษณะชาของปลายประสาทแบบสมมาตร (Symmetric Distal Sensory Loss) ของส่วนแขนและขา แต่มักจะเกิดกับส่วนขามากกว่าแขน

- ผลต่อระบบประสาท อาจทำให้เส้นประสาทเริ่มผิดปกติมีอาการเหน็บชา ทั้งเส้นประสาทอักเสบและโรคระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Neuritis and Neuropathy) ในรายที่เป็นมากๆ อาจแสดงอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงร่วมด้วย

- ผลต่อระบบอื่นๆ เช่น ตับโต ดีซ่าน ไตวาย อาจทำให้กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ มีผลต่อระบบโลหิต โลหิตจาง (เกิดภาวะ Pancytopenia, Aplastic Anemia และ Leukemia) ทำให้หลอดเลือดส่วนปลายหดตัว และเนื้อตาย เรียกว่า Black Foot Disease

- คุณสมบัติของสารหนูคือ เป็นสารก่อลูกวิรูป (Fetotoxicity) สารก่อการกลายพันธุ์ และก่อมะเร็งส่วนต่างๆ ทั้งผิวหนัง ปอด เม็ดเลือดขาว ต่อม้ำเหลือง และหลอดเลือดที่ตับ

- สารหนูสามารถดูดซึมผ่านรกจากมารดาสู่ทารกในครรภ์ ทำให้เกิดผลต่อทารกในครรภ์ เช่น มีภาวะน้ำหนักแรกคลอดต่ำกว่าเกณฑ์ หรือเกิดความผิดปกติตั้งแต่ในครรภ์ได้

2.4.4 โครเมียม (Cr)

โครเมียม (Chromium) สัญลักษณ์ทางเคมี Cr จัดอยู่ในสถานะของแข็ง ลักษณะโลหะเงินสีขาวมันวาว ไม่มีกลิ่น สามารถตีขึ้นรูปได้ ทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดี มีจุดหลอมละลายสูง สถานะออกซิเดชันที่พบได้มากที่สุด คือ ไตรวาเลนซ์โครเมียม (Chromium (III)) และ เฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (Chromium (VI)) โดยที่ Chromium (III) เป็นสถานะที่เสถียรมากที่สุด ส่วนสถานะ Chromium (VI) มีความเป็นพิษสูงสุด โครเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ส่วนใหญ่อยู่ในรูปเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม ทั้งในรูปโครเมียมอิสระ และเกลือของโครเมียม กรณีที่อยู่ในรูปเกลือของโครเมียมจะไม่ตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำหรือรวมตัวกับดิน จะไหลไปตามกระแสน้ำหรือน้ำใต้ดินได้อย่างรวดเร็ว จึงเกิดการปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำดิบที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ง่าย ส่วนไตรวาเลนซ์โครเมียมในธรรมชาติจะพบได้น้อย ดังนั้นโอกาสการสัมผัสจึงมีน้อยด้วย โดยส่วนใหญ่พบไตรวาเลนซ์โครเมียมได้ที่ pH ต่ำกว่า 3.6 เท่านั้น ซึ่งในสถานะดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดพิษ แต่หากร่างกายได้รับในปริมาณมากเกินไปก็มักจะเกิดความผิดปกติของร่างกายในกระบวนการนำน้ำตาลไปใช้ ส่วนการแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศ ส่วนมากมาจากแหล่งอุตสาหกรรม ซึ่งมักแพร่กระจายในรูปของฝุ่นและละอองที่มีการปนเปื้อนของโครเมียมผสมอยู่ (วิวัฒน์ เอกบุรณวัฒน์ และ สุทธิวัฒน์ วงศ์วิทย์วิโชติ, 2556)

1) สารประกอบของโครเมียมและการใช้ประโยชน์

สารประกอบของโครเมียมมีหลายกลุ่มประจุ ได้แก่ กลุ่มประจุ 0, 2, 3 และ 6 ไตรวาเลนซ์โครเมียม (Trivalent Chromium) ประจุบวก 3 (Cr^{+3}) พบได้ทั่วไปในร่างกายมนุษย์ มีบทบาทสำคัญในการช่วยทำงานของฮอร์โมนอินซูลินที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (Hexavalent Chromium) ประจุบวก 6 (Cr^{+6}) อุตสาหกรรมต่างๆ นำมาใช้อย่างแพร่หลาย ไตรวาเลนซ์โครเมียม และเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม มีความคงตัวภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จึงพบได้มากในธรรมชาติ โดยเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมจะพบได้ทั่วไปในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนประจุลบของ CrO_4^{2-} หรือ HCrO_4^- และจะเปลี่ยนรูปเป็นไตรวาเลนซ์โครเมียม (Cr^{+3}) เมื่ออยู่ในสภาวะไม่มีออกซิเจน ซึ่งคุณสมบัติพิเศษคือไม่ละลายน้ำ จึงตกตะกอนอยู่ในท้องน้ำ

โครเมียมเป็นโลหะหนักที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ทั้งการทำสแตนเลส การผลิตสีย้อมผ้า อุตสาหกรรมเครื่องแก้ว ส่วนผสมสารฆ่าเชื้อรา หรือแม้กระทั่ง เป็นส่วนผสมของอาหารเสริมหรือยาลดน้ำหนัก เป็นต้น

2) ช่องทางการรับโครเมียมเข้าสู่ร่างกาย (วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์ และ สุทธิพัฒน์ วงศ์วิทย์วิโชติ, 2556)

โครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้ง 3 ช่องทาง ทั้งระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินหายใจ และทางผิวหนัง

3) กลไกการก่อโรค

โครเมียมที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทั้งทางระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินหายใจ และทางผิวหนัง ในรูปเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (Cr^{+6}) จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์และเปลี่ยนเป็นไตรวาเลนซ์โครเมียม (Cr^{+3}) หลังจากนั้นจะไปจับกับโปรตีนและกรดนิวคลีอิก โดยปกติโครเมียมจะไม่สะสมในเนื้อเยื่อ นอกจากรูปที่ไม่ละลายน้ำและการดูดซึมผ่านทางทางหายใจจะสามารถสะสมอยู่ในปอดได้ ร่างกายจะมีกระบวนการขับออกทางปัสสาวะเป็นช่องทางหลัก

4) อาการจากพิษโครเมียม

- พิษแบบเฉียบพลัน มักพบจากการรับประทานเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม เช่น Chromic Acid มีผลทำให้เกิดการอักเสบเฉียบพลันของกระเพาะอาหารและลำไส้ ร่วมกับอาการอาเจียนเป็นสีเหลืองปนเขียว หรืออาเจียนเป็นเลือด เลือดออกในทางเดินอาหาร เนื้อเยื่อตายเฉียบพลัน และเกิดภาวะไตวาย นอกจากนี้ ในรายที่ได้รับเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในปริมาณมากๆ จะทำให้มีอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำ ปวดท้อง หรือถ่ายเป็นเลือด ในรายที่รุนแรงอาจพบความผิดปกติเหล่านี้ร่วมด้วย เช่น กลุ่มอาการของโรคตับ ภาวะเลือดออกง่าย เม็ดเลือดแดงแตก และอาจเสียชีวิตได้ ปริมาณที่ทำให้เสียชีวิตได้ในผู้ใหญ่ คือ ปริมาณ 1-3 กรัม

- พิษแบบเรื้อรัง มักจะเกิดขึ้นกับกลุ่มคนงานที่ทำงานสัมผัสกับโครเมียมเป็นเวลานาน โดยจะก่อให้เกิดพิษ ดังนี้

- พิษต่อผิวหนัง และ Mucous Membrane ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการสัมผัสเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมเป็นระยะเวลานาน บริเวณที่สัมผัสโครเมียมเป็นประจำมักจะเกิดแผลเรียกว่า Chrome Hole หรือ Chrome Sore โดยจะพบได้ทั่วไปในกลุ่มคนที่มีประวัติสัมผัส Chromic Acid, Ammonium Dichromate, Potassium Chromate หรือ Sodium Dichromate ในกรณีที่แผลไม่ลึกจะหายได้ภายใน 3 สัปดาห์เมื่อได้รับการรักษาด้วยยา ส่วนในรายที่รุนแรงทำให้เกิดโรคผิวหนังอักเสบจากการแพ้ทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ซึ่งเป็นอาการผิดปกติที่มักจะเกิดขึ้นร่วมกับระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง จัดเป็นความไวของการสัมผัสโครเมียมชนิด Delayed-type (Class IV) Hypersensitivity Reaction ส่วนคนงานที่ต้องสัมผัสกับฝุ่นของโครเมียม มักจะพบอาการ

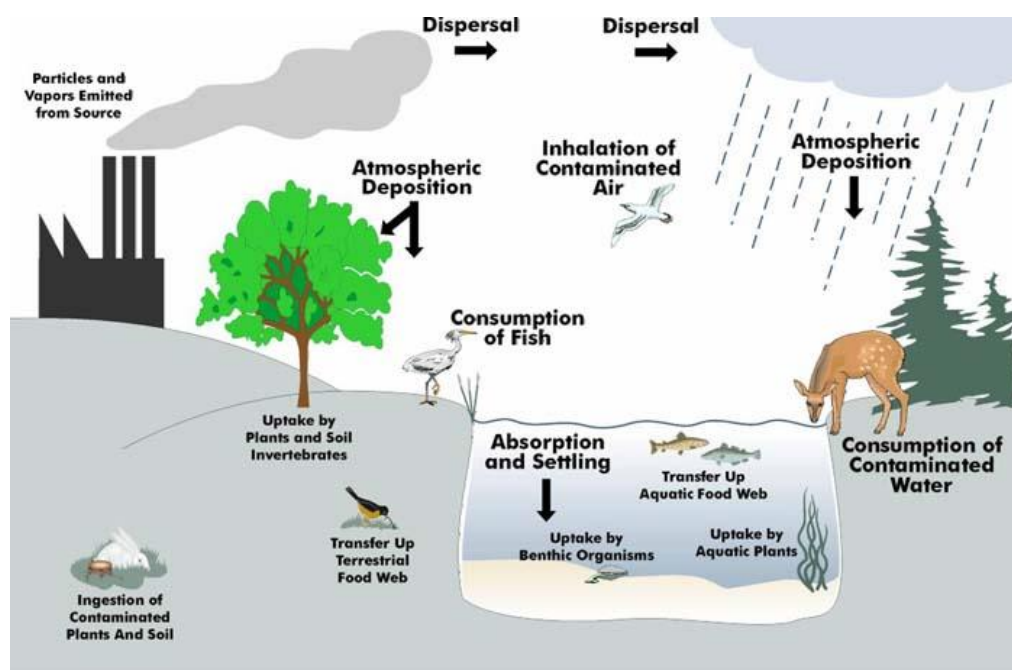
เยื่อตาอักเสบ ร่วมกับ น้ำตาไหล โพรงจมูกอักเสบ เลือดกำเดาไหล ระบายเคืองระบบทางเดินหายใจ และที่พบบ่อยคือ เป็นแผลที่เยื่อจมูก

- พิษต่อระบบทางเดินหายใจ เสกชะวาลิ้นโครเมียมเป็นสาเหตุหลักของการเกิดอาการระบบทางเดินหายใจ อาการตั้งแต่ภูมิแพ้ หอบหืด และก่อให้เกิดมะเร็งปอดได้

2.5 การแปรสภาพและการเคลื่อนที่ (Fate and Transport) ของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม

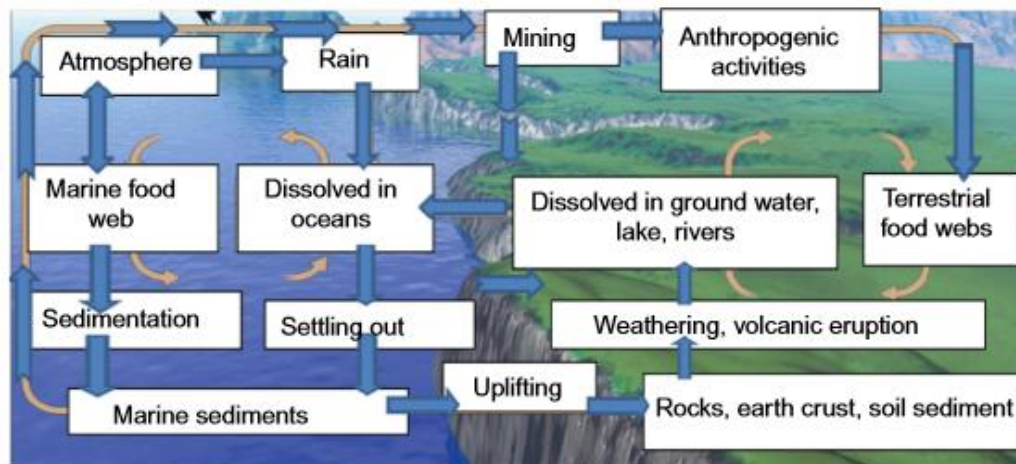
การแปรสภาพและการเคลื่อนที่ (Fate and Transport) ของโลหะหนักเกิดขึ้นได้ทั้งในอากาศ น้ำ ดิน และสิ่งมีชีวิต ซึ่งเมื่อโลหะหนักเคลื่อนที่อยู่ในตัวกลางใดอาจจะเกิดการทำปฏิกิริยาและแปรสภาพเกิดขึ้นได้ การแปรสภาพและการเคลื่อนที่ของโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม หลังจากถูกปล่อยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศแล้วก็จะเคลื่อนที่ กระจายตัวและการเปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจจะถูกควบคุมโดยหลักการทางอุณหพลศาสตร์ ลักษณะภูมิประเทศปริมาณที่สะสม ความชื้น และคุณสมบัติทางเคมีบางประการของสารมลพิษทางอากาศ (เช่นความสามารถในการละลายน้ำ ความดันไอในอากาศ เป็นต้น) การแปรสภาพและการเคลื่อนที่ของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.4-2.5

รูปที่ 2.4 วัฏจักรของโลหะหนักในระบบนิเวศ



ที่มา: US EPA, 1989

รูปที่ 2.5 วัฏจักรทางชีวธรณีเคมีของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม



ที่มา: Das et al., 2014.

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ การกระจายตัว และการดูดซับโลหะหนักในฝุ่น(กรมควบคุมมลพิษ, 2561ข) มีดังต่อไปนี้

1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก โดยมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง การดูดซับสารปนเปื้อน และการตกผลึก-การละลาย ซึ่งหากค่า pH ต่ำ ก่อให้เกิดการละลายของโลหะหนักมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้โลหะหนักเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น แต่หากค่า pH สูง โลหะหนักส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปตะกอนผลึกทำให้การเคลื่อนที่ช้าลง หรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

2) Oxidation Reduction Potential (ORP) เป็นค่าบ่งชี้ปริมาณสารออกซิไดซ์ หรือรีดิวซ์ในตัวกลาง โดยจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากับโลหะหนักและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่น กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและมีผลต่อเนื่องโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ในดินและฝุ่น

3) Soil and Aquifer Matrix เป็นค่าที่แสดงลักษณะโครงสร้างของตัวกลางและ บ่งชี้ถึงองค์ประกอบสำคัญ เช่น สารอินทรีย์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกาะยึดกับโลหะหนัก หรือสารอินทรีย์ อันตราย ก่อให้เกิดการสะสมในดินและลดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน แต่เมื่อสารอินทรีย์ถูกทำลาย สารปนเปื้อนก็สามารถหลุดออกจากตัวกลางได้ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

4) อุณหภูมิและความดัน มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงสถานะ ซึ่งอาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน รวมทั้งส่งผลทางอ้อมที่ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการ ย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้เกิดการผลึกกรดซึ่งมีผลต่อการชะละลาย เป็นผลให้ค่า pH ลดลง โลหะหนักละลายได้ดีขึ้นและสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น

5) กลไกการดูดติดผิว เป็นกลไกที่มีผลอย่างมากต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักและสารอินทรีย์ โดยเป็นกลไกหลักในการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก เช่น การดูดซับ (Adsorption) เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการที่โลหะหนักเกาะติดบนตัวกลางที่เป็นของแข็งฝุ่นหรือดิน ทำให้โลหะหนักที่เกาะยึดติดได้ดีเคลื่อนที่ได้ยาก อีกทั้งหากมีปริมาณสารอินทรีย์ในดินสูง จะทำให้เกิดการดูดติดผิวของสารมลพิษในกลุ่มสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย เช่น เบนซีน หรือ ไตรคลอโรเอธิลีน เป็นต้น

6) กลไกการตกผลึกและการละลาย การตกผลึกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปของโลหะหนักจากสารละลายเป็นตะกอนแข็งและแยกออกจากสารละลาย ซึ่งการตกผลึกจะทำให้โลหะหนักที่เป็นสารละลายเคลื่อนที่ได้ช้าลงจนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญสำหรับการเคลื่อนที่ของโลหะหนักหรือสารอินทรีย์ ส่วนการละลายเป็นการเปลี่ยนรูปสารปนเปื้อนจากของแข็งหรือก๊าซให้กลายเป็นสารละลาย ซึ่งเป็นกลไกที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนรวดเร็วขึ้น

7) การระเหย เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของโลหะหนักในอากาศ โดยเปลี่ยนสถานะโลหะหนักเป็นไอ กลไกนี้ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในตัวกลางดิน แต่ก่อให้เกิดการสูญหายของโลหะหนักหากสารนั้นสามารถระเหยได้ง่าย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย ได้แก่ พื้นที่ผิวสัมผัสในชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ความดันไอของโลหะหนัก อัตราการระเหยของโลหะหนัก โดยทั่วไปสารที่มีค่าความดันไอเกินกว่า 14 mm Hg ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะระเหยได้ดี

2.6 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม

2.6.1 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษาในบรรยากาศ

จากการศึกษาหน่วยงานที่สำคัญทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ มีการประกาศค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในบรรยากาศ เฉพาะตะกั่ว ซึ่งประเทศไทยใช้ค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 10 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป พ.ศ. 2538 ค่าเฉลี่ยในเวลา 1 เดือน ไม่เกิน $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2538) ในส่วนของหน่วยงานของรัฐบาลกลางประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US EPA) กำหนดค่ามาตรฐานระดับตะกั่วในอากาศในสิ่งแวดล้อมทั่วไป (National Ambient Air Quality Standards: NAAQS) ค่าเฉลี่ย 3 เดือน เท่ากับ $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนค่าเฉลี่ยรายไตรมาส เท่ากับ $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (US EPA, 2016)

2.6.2 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษาในสถานประกอบการ

1) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่วในสถานประกอบการ

มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานสำหรับประเทศไทย ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสถานประกอบการเป็นไปตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวง

แรงงาน เรื่อง ชีตจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ซึ่งได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (Time Weighted Average: TWA) ไว้เท่ากับ 0.05 mg/m^3 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2560)

หน่วยงานต่างประเทศได้กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสถานประกอบการ ไว้ดังนี้

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (Recommended Exposure Limit: REL) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) เท่ากับ 0.05 mg/m^3 และกำหนดค่ามาตรฐานระดับตะกั่วที่ความเข้มข้นสูงสุดหากมีการสัมผัส ณ ที่จุดเกิดเหตุเป็นเวลา 30 นาที แต่เมื่อหลบหนีออกมาร่างกายจะไม่ได้รับผลกระทบเรื้อรัง (Immediately Dangerous to Life or Health: IDLH) เท่ากับ 100 mg/m^3 (NIOSH, 2019)

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (Threshold Limit Value: TLV) คนงานสามารถสัมผัสตะกั่วและสารประกอบของตะกั่วในบรรยากาศการทำงานเท่ากับหรือต่ำกว่าแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน (TWA) เท่ากับ 0.05 mg/m^3 (ACGIH, 2019)

- The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตามกฎหมายของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (Permissible Exposure Limit: PEL) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) เท่ากับ 0.05 mg/m^3 (OSHA, 2019)

2) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของแคดเมียมในสถานประกอบการ

มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานสำหรับประเทศไทย ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในสถานประกอบการเป็นไปตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน เรื่อง ชีตจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ซึ่งได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้เท่ากับ 0.005 mg/m^3 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2560)

หน่วยงานต่างประเทศได้กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในสถานประกอบการ ไว้ดังนี้

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) กำหนดค่ามาตรฐานระดับแคดเมียมที่ความเข้มข้นสูงสุดหากมีการสัมผัส ณ ที่จุดเกิดเหตุเป็นเวลา 30 นาที เมื่อหลบหนีออกมาร่างกายจะไม่ได้รับผลกระทบเรื้อรัง (IDLH) เท่ากับ 9 mg/m^3 แต่ไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (REL) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอด

ระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) เนื่องจากพิจารณาว่าแคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จึงไม่มีระดับที่ปลอดภัย (NIOSH, 2019)

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (TLV) คนงานสามารถสัมผัสแคดเมียมและสารประกอบของแคดเมียมในบรรยากาศการทำงานที่เท่ากับหรือต่ำกว่าแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน (TWA) เท่ากับ 0.01 mg/m^3 (ACGIH, 2019)

- The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตามกฎหมายของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (PEL) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) เท่ากับ 0.005 mg/m^3 (OSHA, 2019)

3) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารหนูในสถานประกอบการ

มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานสำหรับประเทศไทย ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในสถานประกอบการเป็นไปตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน เรื่อง ชี้แจงจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้เท่ากับ 0.01 mg/m^3 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2560)

หน่วยงานต่างประเทศได้กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในสถานประกอบการ ไว้ดังนี้

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) กำหนดค่ามาตรฐานระดับสารหนูที่ความเข้มข้นสูงสุดหากมีการสัมผัส ณ ที่จุดเกิดเหตุเป็นเวลา 30 นาที แต่เมื่อหลบหนีออกมาร่างกายจะไม่ได้รับผลกระทบเรื้อรัง (IDLH) เท่ากับ 5 mg/m^3 และปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมให้มีได้ (Ceiling) ที่ค่าเฉลี่ยระดับสารเคมีในเวลา 15 นาที ไม่เกิน 0.002 mg/m^3 แต่ไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (REL) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) เนื่องจากพิจารณาว่าสารหนูเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จึงไม่มีระดับที่ปลอดภัย (NIOSH, 2019)

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (TLV) คนงานสามารถสัมผัสสารหนูและสารประกอบของสารหนูในบรรยากาศการทำงานที่เท่ากับหรือต่ำกว่าแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน (TWA) เท่ากับ 0.01 mg/m^3 (ACGIH, 2019)

- The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตามกฎหมายของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (PEL) ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) เท่ากับ 0.01 mg/m^3 (OSHA, 2019)

4) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโครเมียมในสถานประกอบการ

มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานสำหรับประเทศไทย ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในสถานประกอบการเป็นไปตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน เรื่อง ชี้แจงจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ซึ่งได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) ไว้เท่ากับ 1 mg/m^3 และได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมให้มีได้ (Ceiling) ของเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (กรดโครมิกและเกลือโครเมต) เท่ากับ 0.1 mg/m^3 (กระทรวงมหาดไทย, 2520)

หน่วยงานต่างประเทศได้กำหนดค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในสถานประกอบการ ไว้ดังนี้

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ได้กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (REL) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) ของไตรวาเลนต์โครเมียม (Trivalent Chromium: Cr (III)) และเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (VI)) เท่ากับ 0.50 mg/m^3 และ 0.001 mg/m^3 ตามลำดับ และกำหนดค่ามาตรฐานระดับโครเมียมที่ความเข้มข้นสูงสุดหากมีการสัมผัส ณ ที่จุดเกิดเหตุเป็นเวลา 30 นาที แต่เมื่อหลบหนีออกมาร่างกายจะไม่ได้รับผลกระทบเรื้อรัง (IDLH) ของไตรวาเลนต์โครเมียม และเฮกซะวาเลนต์โครเมียม เท่ากับ 25 mg/m^3 และ 15 mg/m^3 ตามลำดับ (NIOSH, 2019)

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) กำหนดค่ามาตรฐานของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (TLV) คนงานสามารถสัมผัสไตรวาเลนต์โครเมียม และเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ในบรรยากาศการทำงานที่เท่ากับหรือต่ำกว่าแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน (TWA) เท่ากับ 0.003 mg/m^3 และ 0.0002 mg/m^3 ตามลำดับ และกำหนดค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด ซึ่งปกติในเวลา 15 นาที และไม่ควรเกิดขึ้นมากกว่า 4 ครั้ง/วัน (Short Term Exposure Limit: STEL) เท่ากับ 0.0005 mg/m^3 (ACGIH, 2019)

- The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตามกฎหมายของไตรวาเลนต์โครเมียม และเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ในบรรยากาศการทำงาน (PEL) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) เท่ากับ 0.5 mg/m^3 และ 0.005 mg/m^3 ตามลำดับ และได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมให้มีได้ (Ceiling) ของเฮกซะวาเลนต์โครเมียม เท่ากับ 0.1 mg/m^3 (OSHA, 2019)

ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียมในสถานประกอบการของแต่ละหน่วยงาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ในสถานประกอบการ

ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ยอมให้มีได้ในสถานประกอบการ (mg/m ³)									
ชนิดของสารเคมี	ประกาศกระทรวง มหาดไทย		NIOSH			ACGIH		OSHA	
	TWA	Ceiling	TWA	IDLH	Ceiling	TWA	STEL	TWA	Ceiling
ตะกั่ว (Pb)	0.05	-	0.05	100	-	0.05	-	0.05	-
แคดเมียม (Cd)	0.005	-	-	9.00	-	0.01	-	0.005	-
สารหนู (As)	0.01	-	-	5.00	0.002	0.01	-	0.01	-
โครเมียม (Cr)									
- ไตรวาเลนต์	-	-	0.50	25.0	-	0.003	-	0.50	-
โครเมียม (Cr ⁺³)									
- เฮกซะวาเลนต์	1.00	0.1	0.001	15.0	-	0.0002	0.0005	0.005	0.10
โครเมียม (Cr ⁺⁶)									

ที่มา: OSHA, 2019; NIOSH, 2019; ACGIH, 2019; กระทรวงมหาดไทย, 2520; กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2560.

- หมายเหตุ**
1. TWA หรือ Time Weighted Average หมายถึง ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายในอากาศในสถานที่ทำงานระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมงทำงานติดต่อกันใน 1 วัน หรือ 40 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์
 2. STEL หรือ Short Term Exposure Limit หมายถึง ความเข้มข้นเฉลี่ย 15 นาที ที่จะได้รับสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายในอากาศที่มีค่าความเข้มข้นสูงสุด และได้รับซ้ำกันไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 วัน แต่แต่ละครั้งต้องห่างกันอย่างน้อย 60 นาที
 3. Ceiling หมายถึง ค่าของปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้
 4. IDLH หรือ Immediately Dangerous to Life or Health หมายถึง ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายที่ผู้ใหญ่วัยปกติสามารถสัมผัสได้ เป็นเวลา 30 นาที หากหลบหนีออกมาจะยังไม่มีผลกระทบเรื้อรังเกิดขึ้นกับร่างกาย

2.6.3 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษาในร่างกายมนุษย์

1) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่วในร่างกายมนุษย์

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตัวบ่งชี้การสัมผัสสารเคมี (Biomarkers) ของคนงาน (Biological Exposure Indices: BEI) โดยหน่วยงาน Worksafe New Zealand ได้นำข้อมูลมารวบรวมรายงาน Workplace Exposure Standards and Biological Exposure Indices โดยค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างเลือด ซึ่งเก็บได้ทุกช่วงเวลาการปฏิบัติงาน เท่ากับ $20 \mu\text{g/dL}$ ($0.97 \mu\text{mol/L}$) (ACGIH อ้างใน Worksafe New Zealand, 2019)

2) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของแคดเมียมในร่างกายมนุษย์

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตัวบ่งชี้การสัมผัสสารเคมี (Biomarkers) ของคนงาน (BEI) โดยหน่วยงาน Worksafe New Zealand ได้นำข้อมูลมารวบรวมรายงาน Workplace Exposure Standards and Biological Exposure Indices ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของแคดเมียมตัวอย่างเลือด ซึ่งเก็บได้ทุกช่วงเวลาปฏิบัติงาน เท่ากับ $0.044 \mu\text{mol/L}$ ($5 \mu\text{g/L}$) และในตัวอย่างปัสสาวะ ซึ่งเก็บได้ทุกช่วงเวลาเช่นกัน มีค่าเท่ากับ $5 \mu\text{mol/mol creatinine}$ ($5 \mu\text{g/g creatinine}$) (ACGIH อ้างใน Worksafe New Zealand, 2019)

3) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารหนูในร่างกายมนุษย์

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตัวบ่งชี้การสัมผัสสารเคมี (Biomarkers) ของคนงาน (BEI) โดยหน่วยงาน Worksafe New Zealand ได้นำข้อมูลมารวบรวมรายงาน Workplace Exposure Standards and Biological Exposure Indices ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างเลือด ซึ่งเก็บได้ทุกช่วงเวลาการปฏิบัติงาน เท่ากับ $35 \mu\text{g/L}$ (ACGIH อ้างใน Worksafe New Zealand, 2019)

4) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโครเมียมในร่างกายมนุษย์

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) ได้กำหนดค่ามาตรฐานตัวบ่งชี้การสัมผัสสารเคมี (Biomarkers) ของคนงาน (BEI) โดยหน่วยงาน Worksafe New Zealand ได้นำข้อมูลมารวบรวมรายงาน Workplace Exposure Standards and Biological Exposure Indices ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโครเมียมในตัวอย่างปัสสาวะ เท่ากับ $25 \mu\text{g/L}$ (ACGIH อ้างใน Worksafe New Zealand, 2019)

ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ในร่างกายมนุษย์ ของแต่ละหน่วยงาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ในร่างกายมนุษย์

ชนิดของสารเคมี	ชนิดตัวอย่าง	ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	BEI
ตะกั่ว (Pb)	เลือด	ไม่ระบุช่วงเวลา	20 $\mu\text{g/dL}$
แคดเมียม (Cd)	เลือด	ไม่ระบุช่วงเวลา	5 $\mu\text{g/L}$
	ปัสสาวะ	ไม่ระบุช่วงเวลา	5 $\mu\text{g/g creatinine}$
สารหนู (As)	ปัสสาวะ	วันทำงานสุดสัปดาห์	35 $\mu\text{g/L}$
โครเมียม (Cr)	ปัสสาวะ	วันทำงานสุดสัปดาห์	25 $\mu\text{g/L}$

ที่มา: ACGIH อ้างใน Worksafe New Zealand, 2019.

หมายเหตุ BEI (Biological Exposure Indices) หมายถึง ค่ามาตรฐานตัวบ่งชี้การสัมผัสกับสารเคมี (Biomarkers) ของคนงาน

2.7 คุณสมบัติการก่อมะเร็งของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม

การจำแนกสารเคมีหรือโลหะหนักที่มีคุณสมบัติการก่อมะเร็ง ได้มีหน่วยงานที่สำคัญ 2 องค์กรหลักแบ่งกลุ่มไว้ ดังนี้

1) International Agency for Research on Cancer (IARC) แบ่งกลุ่มสารก่อมะเร็งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

- Group 1 (Carcinogenic to humans) หมายถึง ยืนยันแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
- Group 2A (Probably carcinogenic to humans) หมายถึง น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
- Group 2B (Possibly carcinogenic to humans) หมายถึง อาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
- Group 3 (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans) ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่

2) American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) แบ่งกลุ่มสารก่อมะเร็งเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

- A1 (Confirmed Human Carcinogen) หมายถึง ได้รับการยืนยันแน่ชัดแล้วว่า เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

- A2 (Suspected Human Carcinogen) หมายถึง สงสัยจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ เนื่องจากข้อมูลยังไม่เพียงพอ แต่พบว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง

- A3 (Confirmed Animal Carcinogen with Unknown Relevance to Humans) หมายถึง ไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่ แต่เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง

- A4 (Not Classifiable as a Human Carcinogen) หมายถึง ไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ผลการศึกษาในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ยังมีไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ แต่มีข้อมูลบางอย่างสงสัยได้ว่าอาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

- A5 (Not Suspected as a Human Carcinogen) หมายถึง ไม่น่าสงสัยว่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ผลศึกษาและข้อมูลที่พบไม่บ่งบอกถึงผลการก่อมะเร็งในมนุษย์ สำหรับโลหะหนักที่ศึกษามีคุณสมบัติการก่อมะเร็ง ดังนี้

2.7.1 คุณสมบัติก่อมะเร็งของตะกั่ว

1) International Agency for Research on Cancer (IARC) จัดให้ตะกั่วอาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ Group 2B (Possibly Carcinogenic to Humans) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 (IARC, 2020)

2) American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) จัดตะกั่วอยู่ในกลุ่ม A3 (Confirmed Animal Carcinogen with Unknown Relevance to Humans) คือ ยืนยันแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่ทราบว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่ (ACGIH อ้างใน วิวัฒน์ เอกบุรณวัฒน์ และ สุทธิพัฒน์ วงศ์วิทย์วิโชติ, 2556)

3) California Environmental Protection Agency (CalEPA) กำหนดค่าความชัน (Slope Factor) ของตะกั่วที่มีศักยภาพก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์โดยการกิน เท่ากับ $8.5 \times 10^{-3} \text{ (mg/kg/day)}^{-1}$ (CalEPA, 2020)

2.7.2 คุณสมบัติก่อมะเร็งของแคดเมียม

1) International Agency for Research on Cancer (IARC) จัดให้แคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ Group 1 (Carcinogenic to Humans) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 (IARC, 2020)

2) American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) จัดให้แคดเมียมอยู่ในกลุ่ม A2 (Suspected Human Carcinogen) คือ สงสัยจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ เนื่องจากมีข้อมูลจากการศึกษาว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ข้อมูลการก่อมะเร็งในมนุษย์ยังไม่เพียงพอ (ACGIH อ้างใน วิวัฒน์ เอกบุรณวัฒน์ และ สุทธิพัฒน์ วงศ์วิทย์วิโชติ, 2556)

ถึงแม้ว่าแคดเมียมจะถูกจัดเป็นสารที่มีความเสี่ยงต่อการก่อมะเร็ง แต่ยังไม่มีการนำเชื่อก่อนครใดกำหนดค่าความชัน (Slope Factor) ของแคดเมียมที่มีศักยภาพก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์โดยการกินเอาไว้

2.7.3 คุณสมบัติก่อมะเร็งของสารหนู

1) International Agency for Research on Cancer (IARC) จัดให้สารหนูเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ Group 1 (Carcinogenic to Humans) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 โดยก่อให้เกิดมะเร็ง ผิวหนัง ทางเดินหายใจ ปอด ตับ และกระเพาะปัสสาวะ (IARC, 2020)

2) American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) จัดให้สารหนูอยู่ในกลุ่ม A1 (Confirmed Human Carcinogen) คือ ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (ACGIH อ้างใน วิวัฒน์ เอกบุรณวัฒน์, 2562)

3) United State Environmental Protection Agency (US EPA) กำหนดค่าความชันของสารหนูที่มีศักยภาพก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์โดยการกิน เท่ากับ $1.5 \text{ (mg/kg/day)}^{-1}$ (US EPA, 2020)

2.7.4 คุณสมบัติก่อมะเร็งของโครเมียม

1) International Agency for Research on Cancer (IARC) จัดให้เฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (VI)) เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ Group 1 (Carcinogenic to Humans) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดมะเร็งปอดค่อนข้างมากกว่ามะเร็งชนิดอื่นเนื่องจากผลการศึกษาค้นงานที่สัมผัสกับ Chromium (VI) เป็นเวลามากกว่า 30 ปี จะมีความเสี่ยงสูงกว่าคณงานที่สัมผัสน้อยกว่า อีกทั้งพบความสัมพันธ์กับการพบมะเร็งโพรงจมูกและไซนัส ส่วนไตรวาเลนต์โครเมียม (Trivalent Chromium: Cr (III)) ยังไม่สามารถจัดกลุ่มได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์หรือไม่ (Not Classifiable as to Its Carcinogenicity to Humans) (IARC, 2020)

2) American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) จัดให้เฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (VI)) อยู่ในกลุ่ม A1 (Confirmed Human Carcinogen) คือ ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และจัดให้ไตรวาเลนต์โครเมียม (Trivalent Chromium: Cr (III)) อยู่ในกลุ่ม A4 (Not Classifiable as a Human Carcinogen) คือ ไม่สามารถจัดกลุ่มว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ เนื่องจากมีข้อมูลบางอย่างที่ทำให้สงสัยว่าอาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ แต่ข้อมูลการศึกษาทั้งในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ยังมีไม่เพียงพอที่จะบอกได้ (ACGIH อ้างใน วิวัฒน์ เอกบุรณวัฒน์ และ สุทธิวัฒน์ วงศ์วิทย์วิโชติ, 2556)

3) California Environmental Protection Agency (CalEPA) กำหนดค่าความชันของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมที่มีศักยภาพก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์โดยการกิน เท่ากับ $5.0 \times 10^{-1} \text{ (mg/kg/day)}^{-1}$ (CalEPA, 2011a)

คุณสมบัติการก่อมะเร็งและค่าความชันของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติการก่อมะเร็งของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม

ชนิดของสารเคมี	หน่วยงานที่รับรองผล	
	IARC	ACGIH
ตะกั่ว (Pb)	2B*	A3**
แคดเมียม (Cd)	1*	A2**
สารหนู (As)	1*	A1***
โครเมียม (Cr)	1*	A1**

ที่มา: IARC 2020*; ACGIH อ้างใน วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์ และ สุทธิพัฒน์ วงศ์วิทย์โชติ, 2556**;. ACGIH อ้างใน วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์, 2562*.

ตารางที่ 2.7 ค่าความชันของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ที่มีศักยภาพก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ในมนุษย์โดยการกิน (Oral Slope Factor)

โลหะหนัก	Oral Slope Factor (SF) (มก./กก. นน.ตัว/วัน) ⁻¹	อ้างอิง
ตะกั่ว (Pb)	8.5×10^{-3}	CalEPA, 2020
แคดเมียม (Cd)	-	-
สารหนู	1.5	US EPA, 2020
โครเมียม (Cr (VI))	5.0×10^{-1}	CalEPA, 2011a

2.8 ปริมาณโลหะหนักที่ศึกษาที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาโลหะหนักจำนวน 4 ชนิด ประกอบด้วย ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ซึ่งเป็นสารโลหะหนักที่พบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษา โดยพบว่าโลหะหนักบางชนิดมีปริมาณเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (A Chronic Oral Reference Dose: RfD)

ปริมาณโลหะที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD) อ้างอิงจากผลการศึกษาและถูกประกาศโดย United State Environmental Protection Agency (US EPA) โดยการประกาศจะมีการอ้างอิงค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) คือ ระดับของการได้รับหรือมีอัตราการได้รับสิ่งคุกคามที่สูงที่สุดโดยไม่ก่อให้เกิดอาการอันไม่พึงประสงค์

- LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) คือ ระดับของการได้รับหรือมีอัตราการได้รับสิ่งคุกคามที่ต่ำที่สุดโดยที่ยังก่อให้เกิดผลอันไม่พึงประสงค์

- UF (Uncertainty Factor) คือ ค่าที่นำมาใช้เพื่อแก้ไขความไม่แน่นอน (Uncertainty) ที่เกิดขึ้นจากการนำเอา NOAEL ในสัตว์ทดลองมาคำนวณหา RfD สำหรับมนุษย์

- MF (Modifying Factor) คือ Factor ที่แสดงถึงความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่นำมาใช้ เช่น จำนวนสัตว์ทดลองในแต่ละกลุ่มที่ใช้ในการหา NOAEL รายละเอียดของการทดลองมีมากน้อยแค่ไหน ผลการทดลอง MF มีค่าอยู่ระหว่าง > 0 และ 10 Default Value ของ MF มีค่าเท่ากับ 1

- RfD (Reference Dose) คือ ค่าความปลอดภัยของการได้รับสารโลหะหนักแต่ละชนิดเข้าสู่ร่างกายทางการกินตามที่ US EPA แนะนำ

2.8.1 ตะกั่ว

ในปี ค.ศ. 1985 US EPA พยายามที่จะระบุค่าระดับการได้รับสารตะกั่วที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD) แต่พบว่าไม่เหมาะสมที่จะระบุค่า RfD เนื่องจากปัญหาตะกั่วแต่ละพื้นที่ทั่วโลกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง จึงเป็นสาเหตุทำให้ไม่มีการระบุค่า RfD ที่แน่ชัด (US EPA, 2020) แต่มีการศึกษาและใช้ข้อมูลอ้างอิง ระบุค่า RfD เท่ากับ 3.5×10^{-3} mg/kg bw/day (Leung et al., 2008; Song et al., 2015) ส่วนองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) แนะนำปริมาณตะกั่วที่ร่างกายรับได้ต่อสัปดาห์ (Provisional Tolerable Weeks Intake: PTWI) เท่ากับ 0.025 mg/kg bw/week (WHO, 1999)

2.8.2 แคดเมียม

US EPA ได้กำหนดค่า RfD สำหรับการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำดื่มและอาหาร ไว้เท่ากับ 5×10^{-4} mg/kg bw/day และการปนเปื้อนกับอาหาร ได้ค่า NOAEL เท่ากับ 0.01 mg/kg bw/day และ 1×10^{-3} mg/kg bw/day ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.8 (US EPA, 2020)

ตารางที่ 2.8 ระดับการได้รับสารแคดเมียมที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)

ผลกระทบที่สำคัญ	ขนาด	UF	MF	RfD
Significant Proteinuria	NOAEL (น้ำดื่ม) = 0.005 mg/kg/day	10	1	5×10^{-4} mg/kg bw/day (น้ำดื่ม)
Human Studies Involving Chronic Exposure	NOAEL (อาหาร) = 0.01 mg/kg/day	10	1	1×10^{-3} mg/kg bw/day (อาหาร)

ที่มา: US EPA, 2020.

ระดับการได้รับสารแคดเมียมที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกาย โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย ตามการแนะนำของหน่วยงานอื่น ๆ ประกอบด้วย

- องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration: FDA) แนะนำขีดจำกัดสูงสุดของแคดเมียมในน้ำขวดเท่ากับ 0.005 mg/L
- องค์การอนามัยโลก แนะนำปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายสามารถรับได้ต่อเดือน (Provisional Tolerable Month Intake: PTMI) เท่ากับ 25 μ g/kg bw/month (WHO, 2013)

2.8.3 สารหนู

US EPA ได้กำหนดค่า RfD ของสารหนู เท่ากับ 3×10^{-4} mg/kg bw/day ดังตารางที่ 2.9 (US EPA, 2020) ส่วนองค์การอนามัยโลก แนะนำปริมาณสารหนูที่ร่างกายสามารถรับได้ต่อสัปดาห์ ค่าในอดีตเมื่อปี ค.ศ. 1988 เท่ากับ 15 μ g/kg bw/week ต่อมาในปี ค.ศ. 2011 ถูกถอนออกโดยถือว่าไม่มีค่าที่ยอมรับได้ (WHO, 2011)

ตารางที่ 2.9 ระดับการได้รับสารหนูที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)

ผลกระทบที่สำคัญ	ขนาด	UF	MF	RfD
Hyperpigmentation, Keratosis and Possible Vascular Complications Human Chronic Oral Exposure	NOAEL: 0.009 mg/L converted to 0.0008 mg/kg-day LOAEL: 0.17 mg/L converted to 0.014 mg/kg-day	3	1	3×10^{-4} mg/kg bw/day

ที่มา: US EPA, 2020.

2.8.4 โครเมียม

US EPA ได้กำหนดค่า RfD ของระดับการได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent Chromium: Cr (VI)) ไว้ เท่ากับ 3×10^{-3} mg/kg bw/day ดังตารางที่ 2.10 (US EPA, 2020)

ตารางที่ 2.10 ระดับการได้รับสารเฮกซะวาเลนต์โครเมียมที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)

ผลกระทบที่สำคัญ	ขนาด	UF	MF	RfD
None Reported Rat, 1-year Drinking Water Study	NOAEL: 25 mg/L of Chromium as K_2CrO_4 2.5 mg/kg-day (adj.) LOAEL: None	300	3	3×10^{-3} mg/kg bw/day

ที่มา: US EPA, 2020.

ปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD) สรุปได้ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ปริมาณโลหะหนักที่ศึกษาที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD)

โลหะหนัก	Oral RfD (มก./กก. นน.ตัว/วัน)	อ้างอิง
ตะกั่ว (Pb)	3.5×10^{-3}	Leung et al., 2008 Song et al., 2015
แคดเมียม (Cd)	1×10^{-3}	US EPA, 2020
สารหนู (As)	3×10^{-4}	US EPA, 2020
โครเมียม (Cr (VI))	3×10^{-3}	US EPA, 2020

2.9 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เป็นการประเมินผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ เพื่อนำผลนั้นไปคาดการณ์ พยากรณ์ถึงโอกาสของการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่เป็นผลมาจากการได้รับหรือสัมผัสสิ่งคุกคามอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น สารเคมี ความร้อน แสง สี เสียง การสั่นสะเทือน เป็นต้น การประเมินความเสี่ยงเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังเกี่ยวกับการสัมผัสและผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจจะเกิดขึ้นหรือยังไม่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

ความหมายของความเสี่ยง คือ โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย ความผิดพลาด หรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ หรือการกระทำใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอน การกระทำใดๆ หรือลักษณะของสถานการณ์ที่มีผลลัพธ์ได้มากกว่า 1 ชนิด แต่ไม่สามารถสรุปได้แน่นอนว่าสิ่งนั้นจะเกิดขึ้นหรือไม่ แต่สิ่งที่แน่นอนคืออย่างน้อย 1 ในผลลัพธ์นั้นเป็นเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ ดังนั้น ความเสี่ยง จึงมี 2 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องคือ ไม่แน่นอน และไม่พึงประสงค์ คำว่า ไม่แน่นอน หมายถึง ไม่สามารถบอกได้อย่างมั่นใจว่าเหตุการณ์ที่สนใจจะเกิดขึ้นหรือไม่ บอกได้เพียงโอกาสของการเกิด โดยบอกในรูปของความน่าจะเป็น ส่วนคำว่า ไม่พึงประสงค์ หมายถึง ผลลัพธ์หรือเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ส่วนความหมาย การประเมินความเสี่ยง คือ กระบวนการศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อนำมาใช้ในการพรรณนาและวัดความเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคาม ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพถือว่าเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่มีความสำคัญเพื่อใช้ในการตอบคำถามว่าสิ่งคุกคามที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อสุขภาพอย่างไร และความเสี่ยงนั้นมีมากน้อยขนาดไหน (พงศ์เทพ วิวรรณะเดช, 2561; กรมควบคุมมลพิษ, 2561ข)

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ แบ่งลักษณะการศึกษาแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ 1) การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ มุ่งเน้นการศึกษาโดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์ ใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เพื่อทดสอบ วิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ และ 2) การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ เป็นการอธิบายปรากฏการณ์เชิงสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยา ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มาจากวิธีการสัมภาษณ์ และการสังเกต

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (CalEPA, 2011b; US EPA, 2019a) แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification)
- 2) การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)
- 3) การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-response Assessment)
- 4) การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization)

2.9.1 การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) การประเมินสิ่งคุกคาม หรือการระบุสิ่งคุกคาม มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาว่าสิ่งคุกคามมีจริงหรือไม่ หรือสิ่งคุกคามที่กำลังสนใจเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือมีความสัมพันธ์กับผลกระทบด้านสุขภาพหรือไม่ ซึ่งเป็นกระบวนการในการระบุสิ่งคุกคามที่จำเพาะเจาะจงกับสิ่งที่จะทำการประเมิน และเป็นการกำหนดว่าสิ่งคุกคามนั้นมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ โดยกระบวนการค้นหาคำตอบนั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูล 2 ชนิด คือ ข้อมูลเกี่ยวกับการบาดเจ็บหรือโรคที่เกี่ยวข้องกับสิ่งคุกคามนั้น และสภาพการณ์ของการรับเอาสิ่งคุกคามเข้าสู่ร่างกายและก่อให้เกิดโรคหรือการบาดเจ็บต่างๆ การระบุว่าสิ่งคุกคามนั้นมีผลต่อสุขภาพหรือไม่ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมาก จากหลายแหล่งข้อมูล ซึ่งข้อมูลอาจจะได้มาโดยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การศึกษาทางวิทยาการระบาด การศึกษาในสัตว์ทดลอง การศึกษาทางคลินิกหรือรายงานผู้ป่วย การศึกษาในหลอดทดลองและเซลล์เพาะเนื้อเยื่อแบบระยะสั้น และการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

2.9.2 การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) เป็นการวัดปริมาณหรือความเข้มข้นของสิ่งคุกคามที่ประชากรได้รับ วัตถุประสงค์ของการประเมินการสัมผัส เพื่อ ค้นหาชนิดของสิ่งคุกคามที่รับสัมผัส พร้อมคำนวณหาปริมาณที่ได้รับ วิธีการที่ได้รับหรือช่องทางเข้าสู่ร่างกาย ระยะเวลา และภายใต้สภาพการณ์ใด การประเมินการสัมผัส มีรูปแบบวิธีการศึกษาการประเมินการสัมผัส 2 รูปแบบ (US EPA, 2019b) คือ

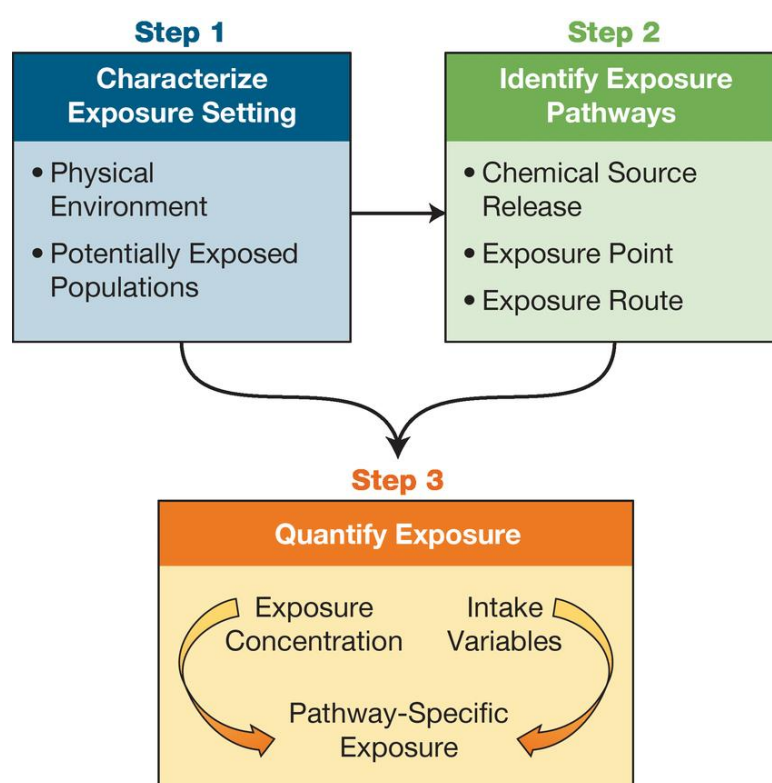
- 1) การเฝ้าคุมการสัมผัส (Exposure Monitoring) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถให้ข้อมูลที่เที่ยงตรงที่สุด สามารถดำเนินการได้ 2 วิธี คือ การเฝ้าคุมที่ตัวบุคคล (Personal Monitoring) และการเฝ้าคุมที่ตัวกลางหรือสถานที่ (Ambient Monitoring) เป็นการเก็บตัวอย่าง อากาศ ฝุ่น น้ำ หรือดิน ที่ตำแหน่งคงที่เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสิ่งคุกคามในบริเวณต่างๆ แต่ข้อจำกัดของวิธีการ

เฝ้าคุกการสัมผัส คือ เป็นวิธีการที่สั่นเปลืองค่าใช้จ่าย เสียเวลา และยากต่อการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ กับสถานที่อื่นๆ แต่มีข้อได้เปรียบคือ สามารถให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงค่าที่แท้จริง ณ จุดที่มีการสัมผัสหรือ ได้รับสิ่งคุกคามนั้น

2) แบบจำลองการสัมผัส (Exposure Modeling) เป็นรูปแบบหนึ่งของสมการ คณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายค่าที่ต้องการจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่ทราบหรือที่วัดได้

กระบวนการประเมินการสัมผัสแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก (US EPA 1989) ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 กระบวนการประเมินการสัมผัส



ที่มา: US EPA, 1989.

1) ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดลักษณะของการสัมผัส (Characterize Exposure Setting) เป็นขั้นตอนของการกำหนดลักษณะของแหล่งกำเนิดสิ่งคุกคามตามลักษณะทางกายภาพ และลักษณะของประชากร ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ข้อมูลเชิงคุณภาพของแหล่งกำเนิดสิ่งคุกคาม เช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิศาสตร์ สภาพดิน สภาพน้ำ สภาพน้ำผิวดิน เป็นต้น และข้อมูลประชากร เช่น ตำแหน่งที่อยู่อาศัย ลักษณะกิจกรรมที่ทำ และกลุ่มประชากรที่มีความไว เป็นต้น

2) ขั้นตอนที่ 2 การค้นหาเส้นทางของการสัมผัส (Identify Exposure Pathways) เป็นการอธิบายเส้นทางของสิ่งคุกคามทางกายภาพจากแหล่งกำเนิดมาสู่ตัวบุคคล ซึ่งเส้นทางการสัมผัสประกอบด้วย 4 ส่วน คือ แหล่งกำเนิด ตัวกลาง จุดที่ประชากรกลุ่มเสี่ยงมีโอกาสสัมผัส และช่องทางการสัมผัส โดยการประเมินการสัมผัส เส้นทางของการสัมผัสจะต้องมีความสมบูรณ์ จะต้องประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ แหล่งกำเนิดหรือสิ่งคุกคามที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จุดสัมผัส และช่องทางการสัมผัส ส่วนองค์ประกอบด้านตัวกลางอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้

3) ขั้นตอนที่ 3 การวัดการสัมผัส (Quantify Exposure) เป็นการวัดขนาดความถี่ และระยะเวลาของการสัมผัสของแต่ละเส้นทางที่ได้จากการค้นหาเส้นทางของการสัมผัส ซึ่งจะมีดำเนินการ 2 ขั้นตอน ดังนี้

- การประมาณความเข้มข้นของการสัมผัส คือการระบุความเข้มข้นของสิ่งคุกคามตลอดช่วงระยะเวลาของการสัมผัส ซึ่งสามารถประเมินได้จากข้อมูลการเฝ้าคุมหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- การคำนวณปริมาณที่ได้รับทั่วไป คือ การคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณสารหรือสิ่งคุกคามที่ได้รับในแต่ละวันของแต่ละเส้นทางที่ระบุไว้ การประมาณการสัมผัสจะระบุในรูปของปริมาณมวลสารของสิ่งคุกคามที่มีการสัมผัสกับร่างกายต่อหนึ่งหน่วยร่างกายต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือเรียกว่า Average Daily Intake: ADI การคำนวณปริมาณที่ได้รับโดยทั่วไปสำหรับสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็งใช้สมการ ดังนี้

$$ADI = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

สมการที่ 1

เมื่อ	ADI	= ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
	C	= Concentration of trace หรือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในตัวกลางระหว่างที่มีการสัมผัส (มก./กก.)
	CR	= Contact Rate หรือ อัตราการสัมผัส ปริมาณการสัมผัสตัวกลางที่ปนเปื้อนต่อหน่วยเวลา
	EF	= Exposure Frequency หรือ ความถี่ของการสัมผัส (วัน/ปี)
	ED	= Exposure Duration หรือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี)
	BW	= Body Weight หรือ น้ำหนักร่างกาย น้ำหนักร่างกายตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.) (ใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของคนไทย)
	AT	= Average Time หรือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (วัน)

- การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาปริมาณที่ได้รับจากการสัมผัสฝุ่น จึงนำการคำนวณปริมาณที่ได้รับจากการสัมผัสดิน ตะกอน หรือฝุ่น เนื่องจากการได้รับสารคุกคามจากการสัมผัสดิน ตะกอน หรือฝุ่นจะเกิดขึ้นมากที่สุดโดยการรับประทานโดยบังเอิญ ซึ่งปริมาณที่ได้รับจากการรับประทานโดยบังเอิญ สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณสารหรือสิ่งคุกคามที่ได้รับในแต่ละวันจากการประมาณการสัมผัสในรูปของปริมาณมวลสารของสิ่งคุกคามที่มีการสัมผัสกับร่างกายต่อหนึ่งหน่วยร่างกายต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือเรียกว่า Average Daily Intake: ADI การคำนวณปริมาณที่ได้รับโดยทั่วไปสำหรับสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็งใช้สมการ ดังนี้

$$ADI = \frac{C \times CR \times CF \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

สมการที่ 1

เมื่อ	ADI	= ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
	C	= Concentration of trace หรือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในตัวกลางระหว่างที่มีการสัมผัส (มก./กก.)
	CR	= Contact Rate หรือ อัตราการสัมผัส ปริมาณการสัมผัสตัวกลางที่ปนเปื้อนต่อหน่วยเวลา (สำหรับเด็ก 6 เดือน ถึง 6 ปี ใช้ค่า 200 มก./วัน และผู้ใหญ่อายุมากกว่า 18 ปี ใช้ค่า 100 มก./วัน)
	CF	= ค่าที่ใช้แปลงหน่วย (10^{-6} กก./มก.)
	FI	= สัดส่วนการรับประทานจากแหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อน (ไม่มีหน่วย) ใช้สำหรับคิดค่าการรับประทานเฉพาะปริมาณที่มีการปนเปื้อนในบางกรณี ความเข้มข้นที่อยู่ในฝุ่นบ้านอาจเท่ากับความเข้มข้นในดินที่อยู่นอกบ้าน ดังนั้นค่า FI จึงมีค่าเป็น 1.0
	EF	= Exposure Frequency หรือ ความถี่ของการสัมผัส (365 วัน/ปี)
	ED	= Exposure Duration หรือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี) อ้างอิงตามข้อมูลอายุคาดเฉลี่ยของประชากรไทย ปี พ.ศ. 2566 ของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล เพศชาย 71.9 ปี เพศหญิง 80 ปี (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม, 2567)
	BW	= Body Weight หรือ น้ำหนักร่างกาย น้ำหนักร่างกายตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.) (ผู้ใหญ่ผู้ชาย ผู้ใหญ่ผู้หญิง เด็กผู้ชาย และ เด็กผู้หญิง = 68.83, 57.40, 11.62 และ 10.32 กก. ตามลำดับ (Muenhor et al., 2017)
	AT	= Average Time หรือระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (ใช้ค่า ED x 365 วัน/ปี)

- การคำนวณปริมาณที่ได้รับสำหรับสารก่อให้เกิดมะเร็ง เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (Chronic Daily Intake: CDI หรือ Lifetime Average Daily Doses: LADDs) ใช้สมการ ดังนี้

$$\text{LADDs} = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times LT} \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ

LADDs = ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)

C = Concentration of trace หรือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในตัวอย่างระหว่างที่มีการสัมผัส (มก./กก.)

CR = Contact Rate หรือ อัตราการสัมผัส, ปริมาณการสัมผัสตัวอย่างที่ปนเปื้อนต่อหน่วยเวลา

EF = Exposure Frequency หรือ ความถี่ของการสัมผัส (วัน/ปี)

ED = Exposure Duration หรือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี)

BW = Body Weight หรือ น้ำหนักร่างกาย, น้ำหนักร่างกายตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.) (ใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของคนไทย)

LT = Lifetime หรือ ระยะเวลาการสัมผัสตลอดชีวิต

- การคำนวณปริมาณที่ได้รับสำหรับสารก่อให้เกิดมะเร็ง สำหรับการคำนวณปริมาณที่ได้รับจากการสัมผัสดิน ตะกอน หรือฝุ่น เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (Chronic Daily Intake: CDI หรือ Lifetime Average Daily Doses: LADDs) ใช้สมการ ดังนี้

$$\text{LADDs} = \frac{C \times CR \times CF \times FI \times EF \times ED}{BW \times LT} \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ

LADDs = ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)

C = Concentration of trace หรือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในตัวอย่างระหว่างที่มีการสัมผัส (มก./กก.)

- CR = Contact Rate หรือ อัตราการสัมผัส ปริมาณการสัมผัสตัวกลางที่ปนเปื้อนต่อหน่วยเวลา (สำหรับเด็ก 6 เดือน ถึง 6 ปี ใช้ค่า 200 มก./วัน และอายุมากกว่า 6 ปี ใช้ค่า 100 มก./วัน)
- CF = ค่าที่ใช้แปลงหน่วย (10^{-6} กก./มก.)
- FI = สัดส่วนการรับประทานจากแหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อน (ไม่มีหน่วย) ใช้สำหรับคิดค่าการรับประทานเฉพาะปริมาณที่มีการปนเปื้อนในบางกรณี ความเข้มข้นที่อยู่ในฝุ่นบ้านอาจเท่ากับความเข้มข้นในดินที่อยู่นอกบ้าน ดังนั้นค่า FI จึงมีค่าเป็น 1.0
- EF = Exposure Frequency หรือ ความถี่ของการสัมผัส (365 วัน/ปี)
- ED = Exposure Duration หรือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี) อ้างอิงตามข้อมูลอายุคาดเฉลี่ยของประชากรไทย ปี พ.ศ. 2566 ของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล เพศชาย 71.9 ปี เพศหญิง 80 ปี (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม, 2567)
- BW = Body Weight หรือ น้ำหนักร่างกาย น้ำหนักร่างกายตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.) (ผู้ใหญ่ผู้ชาย ผู้ใหญ่ผู้หญิง เด็กผู้ชาย และ เด็กผู้หญิง = 68.83, 57.40, 11.62 และ 10.32 กก. ตามลำดับ (Muenhor et al., 2017))
- LT = Lifetime หรือ ระยะเวลาการสัมผัสตลอดชีวิต (ใช้ค่า ED x 365 วัน/ปี)

2.9.3 การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose-response Assessment) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสัมผัสและโอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ จนนำไปสู่การหาค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การประเมินขนาดสัมผัส (Dose Determination) สามารถประเมินได้ 2 แบบ คือ ขนาดที่ถูกดูดซึม (Absorbed Dose) และ ขนาดที่เกิดผล (Internal or Effective Dose) ซึ่งการคำนวณขนาดที่ถูกดูดซึมสามารถคำนวณได้จากการคูณค่าคงที่ค่าหนึ่งหรือหลายค่าเข้ากับค่าที่คำนวณได้จากการประเมินการสัมผัสโดยจะได้เป็นค่า Bioavailability จะมีช่วงของการคำนวณได้อยู่ที่ 0-1 ความหมายคือหากเป็นค่า 0 แปลว่าไม่ถูกดูดซึมเลย และหากเป็นค่า 1 แปลว่าจะถูกดูดซึมร้อยละ 100 ส่วนการคำนวณหาขนาดที่เกิดผล เป็นการคำนวณขนาดที่ไปถึงอวัยวะเป้าหมายจนก่อให้เกิดพิษหรือความเสียหายขึ้น

2) การวัดการตอบสนอง (Response Measurement) การตอบสนองหรือความเป็นพิษสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกการตอบสนองแบบทวิภาค (Dichotomous Response) หมายถึง การตอบสนองที่เกิดขึ้น 2 ชนิด เช่น การวัดการตอบสนองแบบ ตาย และไม่ตาย

หรือการวัดการตอบสนองแบบ เกิด และไม่เกิด เป็นต้น กลุ่มที่สองการตอบสนองแบบต่อเนื่อง (Continuous Response) เป็นการวัดการตอบสนองในรูปแบบของระดับความรุนแรง และกลุ่มที่สามารถตอบสนองที่มีทั้งแบบทวิภาคและต่อเนื่อง (Dichotomous and Continuous Response) เนื่องจากในสภาพความเป็นจริงการตอบสนองทั้ง 2 แบบมักจะเกิดขึ้นไปด้วยกัน นอกจากการตอบสนองขึ้นกับขนาดของการสัมผัส ยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองที่จะต้องนำมาพิจารณา ร่วมกัน ประกอบด้วย ระยะเวลาของการสัมผัส ระดับการคืนสู่สภาพเดิม ระยะเวลาที่แสดงการตอบสนอง ชนิดของการตอบสนอง ตำแหน่งของการตอบสนอง และปัจจัยด้านพันธุกรรม

2.9.4 การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization) เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลจาก 3 ขั้นตอนแรก เป้าหมายของการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง จะต้องระบุความน่าจะเป็นของการเกิดผลกระทบด้านสุขภาพในประชากรกลุ่มเสี่ยงที่เกิดจากสิ่งคุกคามที่สนใจศึกษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์สำหรับเป็นข้อเสนอแนะและกำหนดนโยบายในการตัดสินใจ โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA) ได้กำหนดหลักการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง 4 องค์ประกอบ ประกอบด้วย ความโปร่งใส ความชัดเจน ความสม่ำเสมอ และความสมเหตุสมผล รวมทั้งจะต้องตอบคำถามที่สำคัญเกี่ยวกับกลุ่มที่ได้รับผลกระทบ ทั้งความเสี่ยงแต่ละบุคคลในประชากรกลุ่มเสี่ยง ความเสี่ยงของกลุ่มประชากรกลุ่มเสี่ยง และความเสี่ยงของประชากรย่อยเฉพาะกลุ่ม (US EPA, 2000)

การอธิบายลักษณะความเสี่ยง จำเป็นจะต้องมีการอธิบายลักษณะความเสี่ยงสำหรับสารที่ก่อและไม่ก่อให้เกิดมะเร็งด้วย ดังนี้

1) การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงสำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็ง

- การประเมินความเสี่ยงแบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทางการรับสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) อธิบายผ่านการคำนวณค่าที่เรียกว่า ค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) โดยมีสูตรการหาค่าความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งที่ได้รับจากการกลืนกิน ดังนี้

$$HQ = \frac{ADI}{RfD}$$

สมการที่ 3

เมื่อ	HQ	คือ ค่าความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งที่ได้รับจากการกลืนกิน
	ADI	คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับต่อวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
	RfD	คือ Reference Dose หรือ ปริมาณสารที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางกรกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)

- การแปลผล
- หากค่า $HQ > 1$ หมายถึง เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสาร
 - หากค่า $HQ \leq 1$ หมายถึง ค่าที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสสาร

- การประเมินความเสี่ยงแบบหลายสารต่อหนึ่งเส้นทางการสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) ของโลหะหนักที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน อธิบายผ่านการคำนวณสัดส่วนแบบผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิดที่นำมาศึกษา (Hazard Index: HI) โดยสามารถนำค่า HQ ที่คำนวณได้ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกันมารวมกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ ดังนี้

$$HI = \sum HQ \quad \text{สมการที่ 4}$$

- การแปลผล
- หากค่า $HI > 1$ หมายถึง เกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสาร
 - หากค่า $HI \leq 1$ หมายถึง ค่าที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสสาร

2) การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง

เนื่องจากสารก่อมะเร็งส่วนใหญ่จะไม่มีระดับที่ปลอดภัย ทุกๆ ระดับของสารก่อมะเร็งที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงของมะเร็งได้ ในการคำนวณความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งเป็นการคำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิต (Excess Lifetime Cancer Risk: ELCR) ดังสมการที่ 5

$$ELCR = LADDs \times SF \quad \text{สมการที่ 5}$$

- เมื่อ
- ELCR คือ ค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งเป็นการคำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิต
 - LADDs คือ ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับรายวันเฉลี่ยตลอดอายุขัย ค่า LADDs ได้จากการประเมินการสัมผัส (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
 - SF คือ Slope Factor หรือ ค่าปัจจัยความชัน (มก./กก./วัน)⁻¹

การแปลผล

ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (Excess Lifetime Cancer Risk) หากค่า ELCR ที่คำนวณได้ น้อยกว่า 10^{-6} บ่งชี้ได้ว่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งน้อยมาก หากค่าที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่หากค่าที่คำนวณได้ มากกว่า 10^{-4} เป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ (US EPA, 1989)

2.9.5 การสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพ ในกระบวนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ จำเป็นจะต้องมีการสื่อสารให้กับประชากรกลุ่มเสี่ยงและผู้เกี่ยวข้องรับทราบ โดยการสื่อสารความเสี่ยงเป็นกระบวนการติดต่อสื่อสารเชื่อมโยงแลกเปลี่ยนข้อมูล ข่าวสาร และความคิดเห็นระหว่างผู้ประเมินความเสี่ยง ผู้จัดการความเสี่ยง ถึงผู้รับสารหรือผู้ที่อยู่ในความเสี่ยงและผู้สนใจเกี่ยวกับอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับบุคคล ทรัพย์สิน หรือชุมชน เพื่อส่งต่อข้อมูลที่ถูกต้อง และแม่นยำ เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายหรือผู้รับสารได้รับรู้ถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้น นำไปสู่ความเข้าใจ และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความรู้ ทักษะ และพฤติกรรม การสื่อสารความเสี่ยงเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้มีการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์ที่มีความวิตกกังวล หรือความขัดแย้ง โดยการสื่อสารความเสี่ยงนี้มีอยู่ในทุกกระบวนการดำเนินงานป้องกันควบคุมโรคและภัยสุขภาพ (US EPA, 2007; อนามัย (ธีรวิโรจน์) เทศกระทีก, 2556; พงศ์เทพ วิวรรณะเดช, 2561)

เป้าหมายการสื่อสารความเสี่ยง เพื่อส่งเสริมการรับรู้ และความเข้าใจเรื่องเฉพาะเจาะจง ส่งเสริมความสม่ำเสมอ และความโปร่งใสในการจัดทำทางเลือกหรือข้อเสนอแนะในการจัดการความเสี่ยง และเสริมสร้างความสัมพันธ์ในการทำงานระหว่างผู้มีส่วนร่วม (สำนักสื่อสารความเสี่ยงและพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ, 2561)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถสรุปประเด็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

2.10.1 ประเด็นแหล่งกำเนิดและการปนเปื้อนโลหะหนัก การศึกษาของ Chu et al. (2023) และ Wang et al. (2023) พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคารมาจากหลายแหล่งที่สำคัญ เช่น อุตสาหกรรมการผลิต การขนส่ง เศษวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุก่อสร้าง เช่น ตะกั่วจากสีย้อมผนังหรือพื้นผิวต่างๆ และแคดเมียมจากวัสดุโลหะต่างๆ ภายในอาคาร ขณะที่ Shi and Wang (2021) ยืนยันว่าการทำเหมืองและการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นแหล่งมลพิษหลักของโลหะหนักในระดับสากล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา นอกจากนี้ Ohajinwa et al. (2018) และ Oguri et al. (2018) ยังชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีโลหะหนักสูงในฝุ่นและดิน รวมทั้งในสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนงานในพื้นที่ดังกล่าว

2.10.2 ประเด็นการสะสมและการแพร่กระจายของโลหะหนักในฝุ่น การศึกษาของ Somsunun et al. (2023) ชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่ชนบทและเมืองของประเทศไทยพบว่าโลหะหนัก เช่น สารหนู มีความเข้มข้นสูงในฝุ่นพื้นที่ชนบท ในขณะที่แคดเมียมสะสมในฝุ่นในพื้นที่อุตสาหกรรมเมืองมากกว่า งานวิจัยของ He et al. (2017) ระบุว่าในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศจีนมี

ระดับโลหะหนักในฝุ่นที่สูงกว่าในพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่รีไซเคิลมาก ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงถึงการสะสมของโลหะหนักในพื้นที่ที่มีการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ และความเสี่ยงที่สูงขึ้นในพื้นที่

2.10.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ ผู้วิจัยหลายท่านได้วิเคราะห์ผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพ โดย Singh et al. (2018) ศึกษาคนงานในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ของอินเดีย พบว่าค่าดัชนีความเสี่ยงของโลหะหนักในดินและฝุ่นในพื้นที่นี้เกินมาตรฐานซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ Kiddee & Decharat (2018) ยืนยันผลโดยพบว่าคนงานในโรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในภาคใต้ของประเทศไทยมีความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในเลือดสูงกว่าค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ Oguri et al. (2018) ยังพบว่าในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เวียดนาม การรับสัมผัสหลักมาจากดินและฝุ่น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว

2.10.4 แนวทางการจัดการความเสี่ยง พรภิไล ฅนอมสัจด (2561) ได้เสนอว่าในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ควรมีการตรวจสอบและควบคุมปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำและดิน เพื่อลดผลกระทบต่อประชากรที่อยู่อาศัยรอบๆ พื้นที่นั้น ปิยฉัตร หนูคงบัตร และคณะ (2560) แนะนำให้มีการส่งเสริมสุขอนามัยในที่ทำงานสำหรับช่างซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อลดความเสี่ยงในการรับสัมผัสตะกั่วจากการทำงาน

รายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Chu et al. (2023). ศึกษาความเข้มข้น แหล่งที่มา ปัจจัยที่มีอิทธิพล และอันตรายของโลหะหนักในฝุ่นในและนอกอาคาร พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในอาคารจำนวน 23 ตัวอย่าง จาก 19 ภูมิภาค ให้ผลดังนี้ ตะกั่ว เท่ากับ 123.0 ± 438.1 มก./กก. โครเมียม เท่ากับ 78.3 ± 51.1 มก./กก. และแคดเมียม เท่ากับ 2.3 ± 6.0 มก./กก. แหล่งที่เป็นปัจจัยหลักที่สำคัญจากภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพบ่งชี้ว่าโครเมียมและตะกั่ว มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็ก

Somsunun et al. (2023) ศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโลหะหนักในฝุ่นภายในบ้านเขตเมืองและชนบทของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ประเทศไทย ตรวจวัดโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นภายในบ้านจำนวน 100 ตัวอย่าง พบว่า ความเข้มข้นของสารหนูสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่ชนบท และแคดเมียมในเขตเมืองที่เป็นเขตอุตสาหกรรม แหล่งที่มาของโลหะหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากการปล่อยมลพิษจากการจราจร สี การสูบบุหรี่ และแหล่งผสมในดินธรรมชาติ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เด็กมีความเสี่ยงจากการสัมผัสโลหะหนักผ่านการกลืนกินทั้งชนิดสารเดี่ยว ($HQ = 1.39$) และผลรวมของหลายสาร ($HI = 1.45$) ความเสี่ยงต่อมะเร็งตลอดชีวิตจากการสัมผัสกับโลหะหนักในผู้ใหญ่ ($LCR = 5.31 \times 10^{-4}$) และเด็ก ($LCR = 9.05 \times 10^{-4}$) ความเสี่ยงต่อมะเร็งจากโลหะหนักในพื้นที่ชนบทจะสูงกว่าเมื่อรับประทานเข้าไป ในขณะที่โครเมียมและนิกเกิลจะ

สูงกว่าเมื่อสูดดมและกลืนกินเข้าไปตามลำดับ ผู้ใหญ่ประมาณ 5 ใน 10,000 คน และเด็ก 9 ใน 10,000 คน อาจเกิดมะเร็งในช่วงชีวิตจากการสัมผัสกับโลหะหนักของพื้นที่ดังกล่าว

Wang et al. (2023). ศึกษาการกระจาย แหล่งที่มา และความเสี่ยงต่อสุขภาพของโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคารทั่วประเทศจีน เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้น ลักษณะการปนเปื้อน และความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นของโลหะหนัก 7 ชนิด (สังกะสี (Zn), ตะกั่ว (Pb), ทองแดง (Cu), โครเมียม (Cr), นิกเกิล (Ni), สารหนู (As) และแคดเมียม (Cd)) ในฝุ่นในอาคาร สุ่มตัวอย่าง 3,392 แห่งใน 55 เมืองทั่ว 27 มณฑลของจีน ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักเฉลี่ยลดลงตามลำดับดังนี้ $Zn > Pb > Cu > Cr > Ni > As > Cd$ แหล่งที่มาทั้งจากการจราจรและเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือวัสดุตกแต่งภายในอาคาร การศึกษาไม่พบความเสี่ยงจากโลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งในระดับสูงสำหรับ Zn, Cu, Cr, Ni และ Cd ในขณะที่ Pb และ As พบความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งต่อเด็ก ส่วนความเสี่ยงจากสารก่อมะเร็งที่เกิดจาก Cr และ Ni สูงกว่าความเสี่ยงจาก As และ Cd ควรกำหนดมาตรการที่มีประสิทธิภาพ โดยให้ความสำคัญเป็นลำดับแรกในการควบคุมมลพิษ Pb, Cr, Ni และ As ในฝุ่นภายในอาคารเพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Shi and Wang (2021) ศึกษาโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคาร เพื่อศึกษาการกระจายตัวในเชิงพื้นที่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับสุขภาพ ประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคารทั่วโลกจากบทความมากกว่า 127 บทความที่ตีพิมพ์ระหว่างปี 1985 ถึง 2019 ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคารจากพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการทำเหมือง ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ พบว่าการสัมผัสกับตะกั่วในฝุ่นเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งควรได้รับการจัดการให้มากขึ้น โดยสถานที่ศึกษา 49.8%, 36.8% และ 14.4% พบว่า ระดับตะกั่วในเลือดในกลุ่มเด็ก เกิน $35 \mu\text{g/L}$ (ค่าขีดจำกัดในเยอรมนี) $50 \mu\text{g/L}$ (ค่าขีดจำกัดในสหรัฐอเมริกา) หรือ $100 \mu\text{g/L}$ (ค่าขีดจำกัดในจีน) ตามลำดับ การได้รับตะกั่วจากฝุ่นภายในอาคารถือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดพิษตะกั่วในเลือดของเด็กในประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ

Oguri et al. (2018) ศึกษาการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศเวียดนามเหนือ โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน ฝุ่นพื้น อาหาร และอากาศ แล้ววิเคราะห์ปริมาณของ Cd, Cu, Mn, Pb, Sb และ Zn ในตัวอย่างโดยใช้เครื่อง ICP-MS และ ICP-AES ผลการศึกษา พบว่า การรับสัมผัส Pb มาจากดินและฝุ่นพื้นเป็นหลัก ส่วนการได้รับ Cd, Cu, Mn, Sb และ Zn ผ่านทางอาหารมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการสัมผัสกับโลหะหนักโดยผ่านการสูดดมมีน้อยมาก และค่าความเสี่ยงอันตราย (HQ) ของโลหะหนักแต่ละชนิดมีค่าต่ำกว่า 1

Ohajinwa et al. (2018) ศึกษาผลกระทบของการเผา การแยกชิ้นส่วน และการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ต่อความเข้มข้นของโลหะหนักจำนวน 22 ชนิด (Ag, As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sn, Sb, Te, Ti, Ta, V และ Zn) ในดินและฝุ่น ผลการศึกษาพบว่า As, Ba, Cu, Ni, Se, Sn, Ta, Pb, Zn และ Sb มีความเข้มข้นสูงในตัวอย่างดิน โดยพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ขยะอิเล็กทรอนิกส์จะพบความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดสูงกว่าพื้นที่อื่น สำหรับตัวอย่างฝุ่นพื้นพบ Fe, Cr, As, Cd และ Mn เป็นปริมาณสูงโดยพบความเข้มข้นสูงสุดในพื้นที่แยกชิ้นส่วนมากกว่าจุดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนตัวอย่างฝุ่นถนนพบความเข้มข้นสูงของ As, Ba, Cu, Ge, Pb, Se และ Zn โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในพื้นที่แยกชิ้นส่วนมากกว่าจุดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Singh et al. (2018) ศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของแรงงานที่สัมผัสโลหะหนักในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ของเมืองจันทครห์ และเมืองลูธิอานา รัฐปัญจาบ ประเทศอินเดีย โดยทำการเก็บตัวอย่าง ดิน ฝุ่นพื้น เพื่อตรวจวัดปริมาณของ Cu, Co, Cd, Cr, Ni, Fe, Zn, Pb และ Ba ด้วยเครื่อง ICP-OES พบความเข้มข้นของ Ba, Cu, Pb และ Zn สูงในตัวอย่างดินและฝุ่นพื้น จากการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพโดยคำนวณสารก่อมะเร็ง และสารที่ไม่ก่อมะเร็ง พบว่า ดัชนีความเสี่ยงอันตราย (HI) ของโลหะหนักบางชนิดในดินและฝุ่นมีค่า > 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (ตัวอย่างดิน: As=1.69, Cr=1.38, Cu=4.5 และ Pb=5.82 และตัวอย่างฝุ่น: Pb=2.97) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในผู้ใหญ่จากการปนเปื้อน Cr ในตัวอย่างดินเท่ากับ 3.4×10^{-3} ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้

พรภิไล ถนอมสงัด (2561) ตรวจวัดปริมาณ As, Pb, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni และ Zn ในแหล่งน้ำ ดิน และกบนา (*Hoplobatrachus rugulosa*) บริเวณพื้นที่หลุมฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำ 6 แหล่ง Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni และ Zn มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ส่วนตัวอย่างดิน 23 จุดรอบพื้นที่หลุมขยะพบ As มีค่าเกินมาตรฐาน 3 จุด และ Pb ค่าเกินมาตรฐาน 3 จุด นอกจากนี้ยังพบว่า กบนา 5 ตัวอย่าง พบ Pb มีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐาน

Kiddee and Decharat (2018) ศึกษาระดับของตะกั่วและแคดเมียมในดินและในเลือดของแรงงานในโรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในภาคใต้ของประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในดินมีค่าเกินมาตรฐานของประเทศไทย นอกจากนี้ความเข้มข้นของตะกั่วในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณเลือดของแรงงาน โดยความเข้มข้นของตะกั่วในเลือดของแรงงานผู้ขายสูงกว่าในเลือดของแรงงานผู้หญิงสองเท่า ความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในเลือดของผู้สูบบุหรี่สูงกว่าในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ จากการคำนวณพบว่า ปริมาณขนาดสัมผัสตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ

1.54×10^{-6} – 6.28×10^{-3} และ 9.05×10^{-8} – 2.27×10^{-7} มก./กก. ตามลำดับ ส่วนค่าความเสี่ยงอันตราย (HQ) ของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 1.74 ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของแรงงาน

He et al. (2017) ศึกษาโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในอาคารบริเวณพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชนบทและในเมืองภาคใต้ของประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ Cd, Pb, Cu, Cr และ Zn ในฝุ่นพื้นภายในอาคาร เท่ากับ 2.46–40.4, 206–1380, 217–1200, 25.3–134, และ 176–212 $\mu\text{g/g}$ ระดับโลหะหนักทั้งหมดยกเว้น Zn ในฝุ่นจากพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงกว่าในพื้นที่อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Cd และ Pb มีรูปแบบการปนเปื้อนที่คล้ายคลึงกันสามพื้นที่ บ่งชี้ว่ากิจกรรมการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นแหล่งมลพิษที่สำคัญสำหรับ Cu, Cr และ Zn มีแหล่งกำเนิดมาจากผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนในพื้นที่ชนบทและในเมืองด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุดของการกลืนกิน Pb ต่อวัน ของเด็กวัยหัดเดิน ในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์คือ 16% ซึ่งสูงกว่าปริมาณอ้างอิง 18 เท่า บ่งชี้ว่ามีความเสี่ยงสูง

ปิยฉัตร หนูคงบุตร และคณะ (2560) ศึกษาระดับตะกั่วในปัสสาวะของช่างซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในจังหวัดสงขลา จำนวน 21 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มศึกษา 11 คน และกลุ่มควบคุม 10 คน ทำการเก็บตัวอย่างปัสสาวะจำนวน 2 ครั้ง แล้ววิเคราะห์ระดับตะกั่วโดยใช้เครื่อง ICP-OES ผลการศึกษาพบว่า ระดับตะกั่วในปัสสาวะของกลุ่มศึกษา หลังให้ intervention มีค่าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0464 ± 0.1488 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินิน และมีพิสัยระหว่าง 0.0005–0.4949 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินิน ผลการเปรียบเทียบระดับตะกั่วในปัสสาวะระหว่างกลุ่มศึกษาและกลุ่มควบคุม พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ระดับตะกั่วในปัสสาวะของทั้ง 2 กลุ่มยังอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยในการทำงานที่กำหนดโดย ACGIH การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมด้านสุขอนามัยส่วนบุคคลและการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานส่งผลให้ระดับตะกั่วในปัสสาวะของช่างซ่อมลดลงได้

กรมควบคุมมลพิษ (2562ค) ตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักจากการประกอบกิจการถอดแยกซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในตำบลโคกสะอาด อำเภอโขงเจียม จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน น้ำผิวดิน ตะกอนดิน น้ำใต้ดิน และฝุ่นดิน แล้วตรวจวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) ผลการศึกษาพบว่า ดินบริเวณที่พักอาศัย พบ As, Ba, Cu, Mn, Ni, Zn และ Cr ดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมรอบชุมชน พบ Mn, Ni, Cr, Cu และ Zn และดินบริเวณศูนย์พัฒนาเด็กเล็กและโรงเรียน พบ Mn, Cu และ Zn ซึ่งทั้ง 3 พื้นที่ ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม และมาตรฐานดินประเภทที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย ส่วนฝุ่นดินบริเวณจุดถอดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบ As, Cu, Mn, Pb และ Zn และดินปนเปื้อนกากของเสียบริเวณสถานที่กำจัดขยะพบ Pb และ Cu สูงเกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการ

อื่นนอกเหนือจากเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม 1.8 และ 2.3-2.6 เท่าตามลำดับ สำหรับดินบริเวณภายนอกสถานที่กำจัดขยะในรัศมี 100 เมตร พบ As สูงเกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม 5.82 เท่า

Neeratanaphan et al. (2017) ศึกษาการสะสมโลหะหนักในข้าว (*O. sativa*) ใกล้เคียงขยะอิเล็กทรอนิกส์ อำเภอเมืองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้เครื่อง ICP-OES ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของ Pb และ Cr ในตัวอย่างน้ำภายในและใกล้กับพื้นที่ทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความเข้มข้นของ Pb ในตัวอย่างดินเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินสำหรับที่อยู่อาศัยและการเกษตร กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ส่วนปริมาณการบริโภค Cr, Pb, Mn และ Ni ต่อวัน (EDI) ผ่าน *O. sativa* เท่ากับ 6.19, 6.02, 370.57 และ 3.80 มก./กก./วัน ตามลำดับ จากการคำนวณ พบว่า ความเสี่ยงต่อสุขภาพสำหรับ Cr, Pb, Mn และ Ni ผ่านการบริโภค *O. sativa* เท่ากับ 0.30, 1.50, 2.60 และ 0.002 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Pb และ Mn มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Huang et al. (2016) ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการสูดดมฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็กในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ทางภาคใต้ของประเทศไทย ผลการประเมิน พบว่า ความเสี่ยงจากการสูดดมโลหะในแต่ละวันต่ำกว่าการบริโภคอาหารและการกลืนฝุ่นในบ้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความเสี่ยง As และ Mn จากการสูดดมสำหรับผู้ใหญ่มีค่ามากกว่า 1 ส่วนค่าความเสี่ยง As, Mn, Cd และ Ni สำหรับเด็กมีค่ามากกว่า 1 ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของโลหะที่ก่อให้เกิดมะเร็ง 5 ชนิด คือ Cr, Co, Ni, As และ Cd สำหรับผู้ใหญ่และเด็กเป็น 1.3×10^{-3} (95% CI: 4.1×10^{-4} – 3.0×10^{-3}) และ 3.9×10^{-3} (95% CI: 1.3×10^{-3} – 8.6×10^{-3}) ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าช่วงความเสี่ยงมะเร็งที่ยอมรับได้ 10^{-6} – 10^{-4} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Zheng et al. (2016) ศึกษาความเข้มข้นของ Pb, Cd, Cr และ Mn ใน PM_{2.5} บริเวณพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในเมือง Guiyu ประเทศจีน เก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และวิเคราะห์โลหะหนักด้วยวิธี Gravimetrically และ GFAAS ตามลำดับ ผลการตรวจวัด พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ Pb และ Cd ใน PM_{2.5} ของพื้นที่ศึกษาสูงกว่าในพื้นที่อ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Pb: 160 ng m^{-3} กับ 69 ng m^{-3} , $p < 0.001$; Cd: 5.7 ng m^{-3} กับ 3.4 ng m^{-3} , $p < 0.01$) แต่ปริมาณของ Cr และ Mn ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณโลหะหนักในช่วงฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิสูงกว่าฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ พบว่า ความเสี่ยงของโลหะหนักที่อาจเกิดมะเร็งจาก Cd และ Cr โดยรวมทั้งเด็กและผู้ใหญ่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US EPA นอกจากนี้ยังพบว่า องค์ประกอบของสารก่อมะเร็งและไม่ใช้สารก่อมะเร็งใน PM_{2.5} ยังก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กมากกว่าผู้ใหญ่

ดุขฎฐิ หมึนหื้อ และคณะ (2559) คึักษาการประเม็นความเสี่ยงต้อสุขภาพของช่างซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากการสัมผัสตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) และโครเมียม (Cr) ในอากาศของร้านซ่อมขนาดเล็ก เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบอาสาสมัคร จำนวน 17 คน ทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับหายใจของช่างซ่อมและวิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้ ICP-AES ผลการศึกษาพบว่า ค่าปริมาณเข้มข้นของ Pb, Cd และ Cr ในอากาศ เท่ากับ 0.002-0.049 mg/m³, 0-0.001 mg/m³ และ 0.001-0.225 mg/m³ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นที่ NIOSH และ ACGIH กำหนดไว้ จากการคำนวณความเสี่ยงโรคมะเร็งจากการหายใจ Cd และ Cr เข้าสู่ร่างกาย พบว่า มีความเสี่ยงเท่ากับ 3.2×10^{-3} และ 7×10^{-4} ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านโนนสูง (2558) ศึกษาแนวทางการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้ประกอบการค้าของเก่าและกลุ่มเสี่ยงให้ตระหนักในการดูแลสุขภาพ ศึกษาในหมู่บ้านต้นแบบ บ้านโคกประสิทธิ์ หมู่ที่ 12 ตำบลโคกสะอาด อำเภอขอมชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นการรวบรวมผลการศึกษาความเสี่ยงจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ของหน่วยงานต่างๆ ที่เข้ามาเก็บตัวอย่างการวิจัยในพื้นที่ตำบลโคกสะอาด อำเภอขอมชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินเกินค่ามาตรฐานกำหนด ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างดินในนาข้าวไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด รวมทั้งปริมาณปรอทในตัวอย่างเส้นผมก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ตัวอย่างดินบริเวณบ้านเรือน พบว่า ปริมาณตะกั่ว สารหนู และแมงกานีส มีค่าเกินค่ามาตรฐานของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 กำหนด ปริมาณตะกั่วในเลือดของเด็กบางราย สูงกว่า 10 ไมโครมิลลิกรัม/เดซิลิตร และระดับฝุ่นตะกั่วในสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด และตัวอย่างฝุ่นตะกั่วจากมือและแขนผู้ใหญ่ มีค่า 12.3 ไมโครมิลลิกรัม/100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงจากการสัมผัสสารตะกั่วจากการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งฝุ่นตะกั่วในบริเวณห้องเรียนของศูนย์เลี้ยงเด็ก พบว่า มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดด้วย

Zhang et al. (2014) Pb, Cd, Cr, Zn, As Hg และ Cu ในดินใกล้กับโรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกทิ้งร้างในเมืองไทโจว (Taizhou) ของประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า ระดับของ Pb, Cd และ Cu ในดิน เท่ากับ 6082.9, 42.3, 2364.2 mg/kg โดย Cd เป็นสารปนเปื้อนที่แพร่กระจายมากที่สุด จากการคำนวณค่าความเสี่ยงอันตราย HQ ของ Pb, Cd, Hg และ Cu พบว่า มีความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงทั้งเด็กและผู้ใหญ่

Yang et al. (2013) ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของ Cr, Ni, Cu, Zn, Cd และ Pb ในดินที่อยู่ติดกับโรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน พบว่า ความเข้มข้นของโลหะทั้ง 6 ชนิด สูงกว่าค่ามาตรฐาน จากการคำนวณ พบว่า โลหะหนักทุกชนิดมีค่าความเสี่ยง

อันตราย (HQ) ที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ต่ำกว่า 1.0 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ส่วนค่าความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งสำหรับ Cr, Ni และ Cd ทุกชนิดมีค่าต่ำกว่า 1×10^{-6} ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้

Wang et al. (2012) ศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กที่ได้รับตะกั่วจากการผลิตแผ่นตะกั่วและพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในมณฑลเจ้อเจียง ประเทศจีน โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเด็กจำนวน 329 คน อายุ 11-12 ปี ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ผลิตแผ่นตะกั่ว พื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ และพื้นที่อ้างอิง แล้วตรวจวิเคราะห์ระดับตะกั่วในเลือดโดยใช้เครื่อง ICP-MS พบค่าเฉลี่ยของตะกั่วในเลือดของเด็กที่อาศัยในพื้นที่ผลิตแผ่นตะกั่ว พื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ และพื้นที่อ้างอิง เท่ากับ 8.11 $\mu\text{g/dL}$, 6.97 $\mu\text{g/dL}$ และ 2.78 $\mu\text{g/dL}$ ตามลำดับ แต่เด็กทั้ง 3 พื้นที่ ไม่พบความแตกต่างของเชาวน์ปัญญา (IQ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

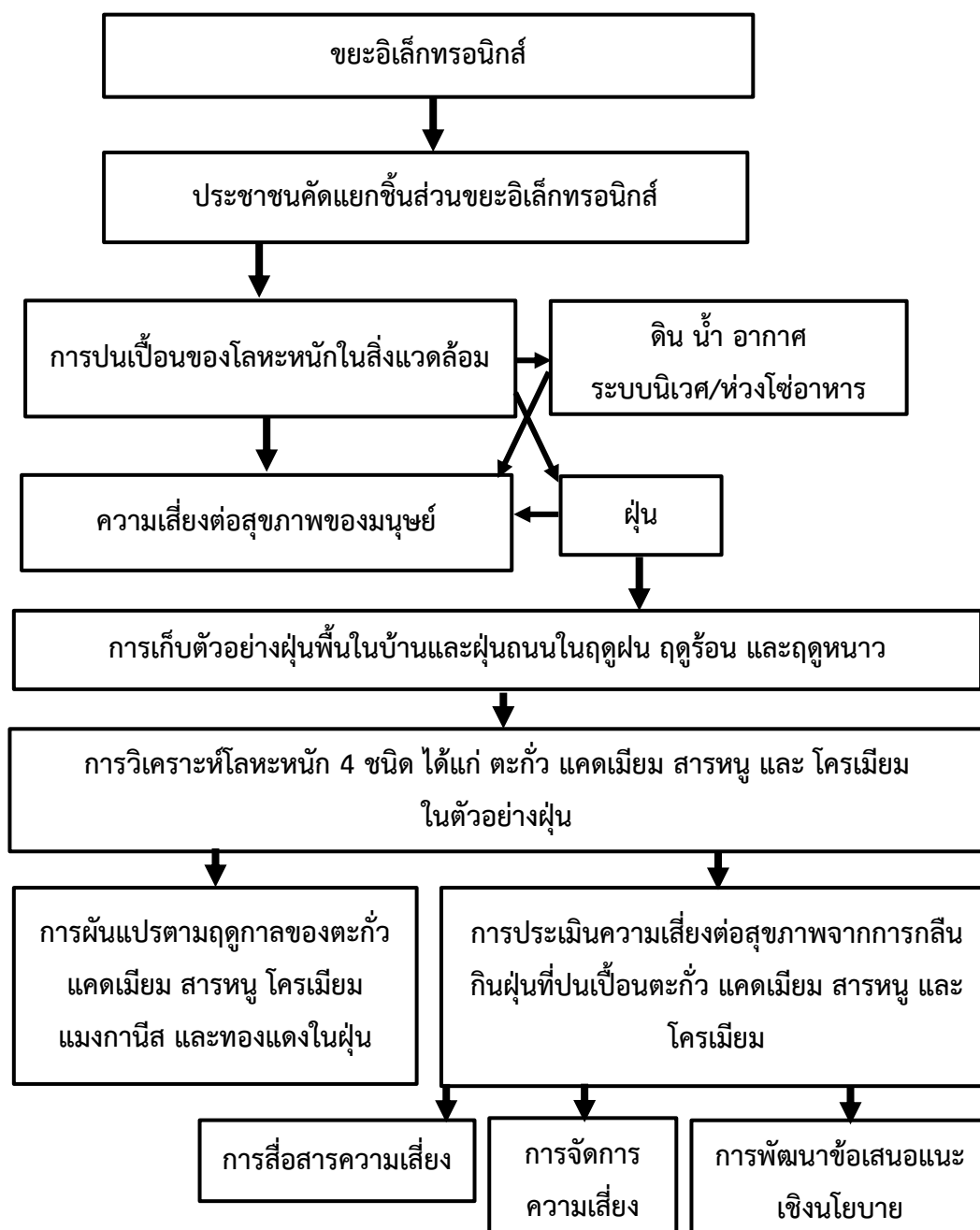
Perihan (2012) ศึกษาระดับโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคารของเมือง Istanbul ประเทศตุรกี พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ Cu, Pb, Cd, Zn, Cr, Mn, Co และ Ni ในฝุ่นภายในบ้านและสำนักงาน อยู่ในช่วง 62-1800, 3-200, 0.4-20, 210-2800, 2.8-460, 8-1300, 2.4-25 และ 120-2600 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ระดับความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของโครเมียมในผู้ใหญ่และเด็ก ด้วยการประเมินการสัมผัสโลหะหนักทางการกินและหายใจ เท่ากับ 3.7×10^{-5} และ 2.7×10^{-5} ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ US EPA กำหนดค่ามาตรฐานไว้คือ ไม่เกิน 1×10^{-6} ส่วนโลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งมีดัชนีความเสี่ยงน้อยกว่า 1 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญ

เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง และคณะ (2552) ศึกษาการปนเปื้อนของ Hg, Pb, Cd, Cu, Ni และ Mn ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ตำบลโคกสะอาด อำเภอขोंงชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างดินบริเวณกองเผาขยะมีการปนเปื้อน Pb และ Cu 79,520 มก./กก. และ 39,161 มก./กก. ตามลำดับ โดย Pb มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน 198 เท่า (ค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม) ส่วนตัวอย่างน้ำ ดินในนาข้าว ข้าวเปลือก และไข่ไก่ มีการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดในปริมาณน้อย และส่วนใหญ่ไม่เกินค่ามาตรฐาน สำหรับปริมาณ Hg ในเส้นผมพบว่า มีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งเป็นค่าปกติ

2.11 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้สรุปไว้ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 กรอบแนวคิดการวิจัย



บทที่ 3

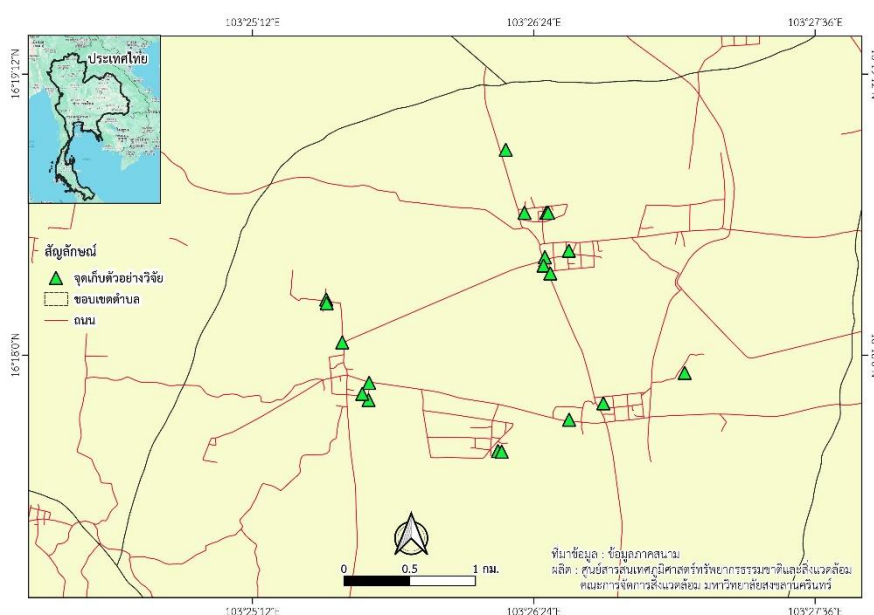
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักในฝุ่น รวมถึงการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนเนื่องจากการสัมผัสโลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่น โดยใช้กรอบแนวคิดการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ 4 ขั้นตอน ของ CalEPA (2011b) และ US EPA (2019a) ประกอบด้วย การประเมินสิ่งคุกคาม การประเมินการสัมผัส การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง และการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง ผลจากการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพนำมาพัฒนาข้อเสนอเชิงนโยบายในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และความเสี่ยงต่อสุขภาพในประเทศไทย โดยมีรายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้เป็นบ้านที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชนบทที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำนวน 19 หลังคาเรือน ซึ่งสมาชิกในครัวเรือนทั้ง 19 หลังคาเรือน ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ณ บ้านพักอาศัยของตน และสมาชิกในครัวเรือนอย่างน้อย 1 คน มีระดับตะกั่วในเลือดสูงเกินค่ามาตรฐานกำหนด

รูปที่ 3.1 แผนที่หลังคาเรือนและถนนหน้าบ้านที่ใช้เก็บตัวอย่างวิจัยในพื้นที่ศึกษา



3.2 ตัวอย่างที่ศึกษา

ผู้วิจัยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นภายในห้องนอน และห้องนั่งเล่น ตลอดจนฝุ่นถนนหน้าบ้านของบ้านที่ศึกษาจำนวน 19 หลังคาเรือน ในช่วงฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน

3.3 ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างฝุ่นพื้นภายในห้องนอนและห้องนั่งเล่น รวมถึงฝุ่นถนนหน้าบ้านจะถูกเก็บในช่วง 3 ฤดูกาล ของพื้นที่ศึกษาอ้างอิงฤดูกาลตามกรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย ดังนี้

3.3.1 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม ดำเนินการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 5-7 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564

3.3.2 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ช่วงฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์ ดำเนินการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 23-25 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564

3.3.3 เก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ช่วงฤดูร้อน ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง พฤษภาคม ดำเนินการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 23-25 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2565

3.4 แบบสอบถาม

ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนแต่ละครั้ง ผู้วิจัยจะมีการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามจำนวน 2 ชุด ดังนี้

3.4.1 แบบสอบถามการเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน จำนวน 13 ข้อคำถาม

3.4.2 แบบสอบถามเกี่ยวกับสุขศาสตร์ส่วนบุคคลของสมาชิกในครัวเรือนที่ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งเป็น 4 ส่วน จำนวน 47 ข้อคำถาม

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์ จำนวน 18 ข้อคำถาม
- ส่วนที่ 2 ข้อมูลอนามัยส่วนบุคคล จำนวน 17 ข้อคำถาม
- ส่วนที่ 3 ข้อมูลการสังเกตพฤติกรรม จำนวน 10 ข้อ
- ส่วนที่ 4 ข้อมูลการจัดการสภาพแวดล้อมบริเวณคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

จำนวน 2 ข้อคำถาม

3.5 วัสดุอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

3.5.1 ภาชนะ

- เครื่องดูดฝุ่น ขนาด 1,600 วัตต์
- ถุงเก็บตัวอย่างฝุ่น (Nylon socks: conical bags 13.5 cm long x 7.0 cm

(open end), 3.5 cm (sealed end) [Allied Filter Fabrics PTY Ltd, Australia]

- ตลับเมตรสำหรับวัดขนาดพื้นที่เก็บตัวอย่าง
- ถุงมือทางการแพทย์
- ผ้าปิดจมูก
- ปากกาเคมี
- ถุงซิปล็อค
- ริปบิ้นลวด
- นาฬิกาจับเวลา
- กล้องโฟมเก็บความเย็น
- น้ำแข็ง

3.5.2 ห้องปฏิบัติการ

- ตะแกรงร่อนฝุ่น ขนาด 500 μm Mesh Sieve
- เครื่องชั่งละเอียดสูง
- กระจกชอูลูมิเนียมฟรอยด์
- ขวดแก้วมีฝาปิด ขนาด 50 มิลลิลิตร
- หลอดพลาสติกชนิด Polypropylene ที่มีฝาปิด ขนาด 50 มิลลิลิตร
- กรดไนตริก (HNO_3)
- เครื่องย่อย Microwave Digestion CEM รุ่น MARS6
- ขวดปริมาตร
- กระจกกรองสารเบอร์ 1 ยี่ห้อ MACHEREY-NAGEL (MN)
- กรวยกรอง
- ไมโครปิเปต
- ที่วางหลอดทดลอง
- หลอดทดลองที่มีฝาปิด ขนาด 125 มิลลิลิตร
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
- ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส
- บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
- ขวดน้ำกลั่น
- เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Avio 500

3.6 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.6.1 ทบทวนวรรณกรรมและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง

3.6.2 ดำเนินการยื่นขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เนื่องจากการศึกษาดังกล่าวมีการสอบถามโดยใช้แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของหลังคาเรือนและข้อมูลสุขภาพส่วนบุคคล

3.6.3 สำรวจพื้นที่ ซึ่งก่อนการสำรวจพื้นที่ผู้วิจัยติดต่อขอข้อมูลหลังคาเรือนที่ศึกษาจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในพื้นที่ และประสานอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านเพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าสำรวจพื้นที่และการติดต่อสื่อสาร ต่อมาได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นในห้องนอน ฝุ่นพื้นในห้องนั่งเล่น และฝุ่นถนนหน้าบ้านของแต่ละหลังคาเรือน

3.6.4 ดำเนินการลงพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละฤดูกาล

3.6.5 เก็บข้อมูลแบบสอบถามจากตัวแทนผู้ที่อยู่อาศัยในหลังคาเรือนที่ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นทุกครั้ง

3.6.6 เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษาในวันที่และเวลาที่เก็บข้อมูลแต่ละฤดูกาล ประกอบด้วย ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน โดยอ้างอิงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

3.6.7 วิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นเพื่อหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด

3.7 วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่น

3.7.1 การเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นภายในอาคาร โดยวิธีการดูดฝุ่น (Vacuum Methods) ตามคำแนะนำขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA, 1995) ตลอดจนวิธีการศึกษาของ Muenhor et al. (2010, 2017, 2018), Muenhor and Harrad (2018) และ Muenhor (2011) การเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นในบ้านกำหนดบริเวณที่จะเก็บจำนวน 2 จุด (Jabeen et al., 2001) คือบริเวณห้องนอนและห้องนั่งเล่นห้องละ 1 ตัวอย่าง โดยมีวิธีการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

- นำถุงเก็บฝุ่น (Nylon socks: conical bags 13.5 cm long x 7.0 cm (open end), 3.5 cm (sealed end) [Allied Filter Fabrics PTY Ltd, Australia] ขนาดรูพรุน 25 ไมครอน ติดตั้งกับท่อส่วนปลายของเครื่องดูดฝุ่นขนาด 1600 วัตต์

- วัดขนาดพื้นที่เก็บตัวอย่าง โดยใช้ตลับเมตรหรือสายวัด หากพื้นที่ห้องที่จะเก็บตัวอย่างไม่มีพรมปู วัดพื้นที่เก็บตัวอย่างขนาด 4 ตารางเมตร ทำเครื่องหมายพื้นที่ให้ชัดเจน แล้วดูดฝุ่นให้ทั่วพื้นที่ ภายในเวลา 4 นาที แต่หากเป็นพื้นที่ห้องที่มีพรมปูให้วัดพื้นที่เก็บตัวอย่างขนาด 2 ตารางเมตร และดูดฝุ่นให้ทั่วพื้นที่เป็นเวลา 1 นาที

- เมื่อดูดฝุ่นเสร็จแล้วให้นำถุงเก็บฝุ่นออกจากเครื่องดูดฝุ่น และมัดปากถุงด้วยริบบิ้นลวดก่อนใส่ในถุงพลาสติกแบบมีซิปล็อค พร้อมเขียนรายละเอียดของตัวอย่างฝุ่นแต่ละตัวอย่าง

เช่น รหัสตัวอย่าง วันที่ และสถานที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างให้ชัดเจนบนถุงพลาสติกซิปล็อคแล้วนำตัวอย่างไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

- การเก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละครั้งผู้เก็บตัวอย่างจะต้องสวมถุงมือทางการแพทย์และใช้ผ้าปิดจมูก รวมทั้งทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องดูดฝุ่นทุกครั้งหลังการเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันการปนเปื้อน (Cross Contamination) รายละเอียดการเก็บตัวอย่างฝุ่นภายในอาคาร ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นภายในอาคาร



การติดตั้งถุงเก็บฝุ่นกับท่อส่วนปลายของ
เครื่องดูดฝุ่น

การวัดขนาดพื้นที่และดูดฝุ่นตาม
พื้นที่และเวลาที่กำหนด

3.7.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นถนน ดำเนินการตามวิธีการของ Muenhor et al. (2017, 2018) ดังรูปที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เก็บตัวอย่างฝุ่นถนนจากถนนหน้าบ้านในวันเดียวกันกับวันที่เก็บฝุ่นพื้นในห้องนอนและห้องนั่งเล่นในบ้านที่ศึกษาและต้องเป็นวันที่ฝนไม่ตกและพื้นถนนไม่เปียกชื้น

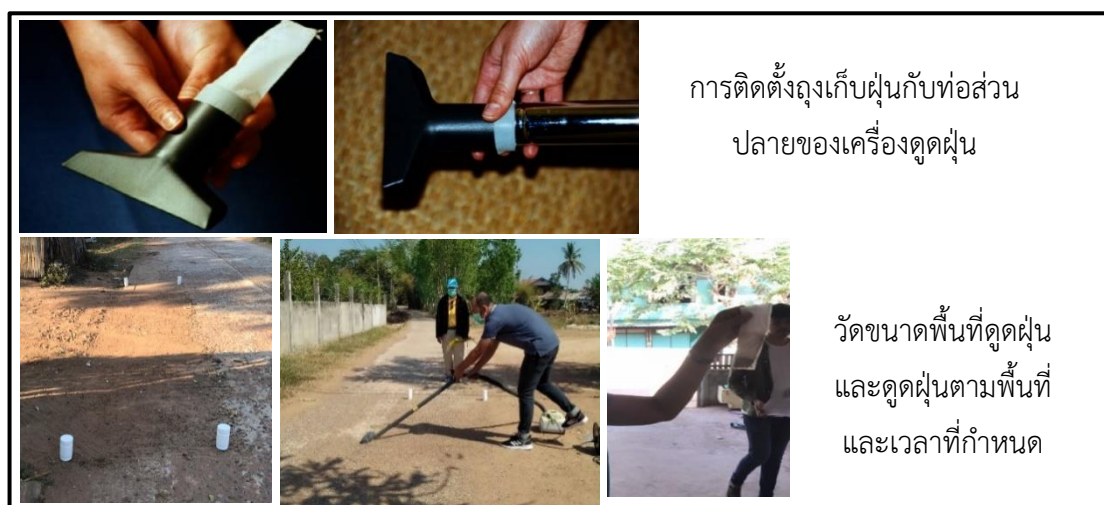
- นำถุงเก็บฝุ่น (Nylon socks: conical bags 13.5 cm long x 7.0 cm (open end), 3.5 cm (sealed end) [Allied Filter Fabrics PTY Ltd, Australia] ขนาดรูพรุน 25 ไมครอน ติดตั้งกับท่อส่วนปลายของเครื่องดูดฝุ่นขนาด 1600 วัตต์

- ดูดฝุ่นจากกลางถนนไปยังขอบถนนฝั่งเดียวกับบ้านที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้น โดย การวัดขนาดพื้นที่เก็บตัวอย่างใช้ตลับเมตรหรือสายวัดและทำเครื่องหมายให้ชัดเจน โดยวัดขนาดพื้นที่ 4 ตารางเมตร และดูดฝุ่นเป็นระยะเวลา 4 นาที

- เมื่อทำการดูดฝุ่นเสร็จแล้วให้นำถุงเก็บฝุ่นออกจากเครื่องดูดฝุ่น และมัดปากถุง ด้วยริบบิ้นลวดก่อนใส่ในถุงพลาสติกแบบมีซิปล็อค พร้อมเขียนรายละเอียดของตัวอย่าง เช่น รหัส ตัวอย่าง วันที่ และสถานที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างให้ชัดเจนบนถุงพลาสติกซิปล็อค แล้วนำตัวอย่างไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อคงสภาพตัวอย่างฝุ่น

- การเก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละครั้งผู้เก็บตัวอย่างจะต้องสวมถุงมือทางการแพทย์และใช้ผ้าปิดจมูก รวมทั้งทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องดูดฝุ่นทุกครั้งหลังการเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันการปนเปื้อน (Cross Contamination)

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นถนน



3.8 วิธีการเตรียมตัวอย่างฝุ่น

3.8.1 การเตรียมตัวอย่างฝุ่นก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่าง มีวิธีการเตรียม ดังนี้

- เตรียมขวดแก้วสะอาดที่มีฝาปิดมิดชิด ขนาด 50 มิลลิลิตร โดยเขียนรหัสตัวอย่างฝุ่นพื้น ตัวอย่างละ 1 หลอด

- ชั่งน้ำหนักขวดแก้วด้วยเครื่องชั่งละเอียด
- นำตัวอย่างฝุ่นพื้นไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนฝุ่น Mesh Sieve ขนาดน้อยกว่า 500 ไมครอน เพื่อแยกวัสดุแปลกปลอมอื่นๆ ออก โดยรองด้วยกระดาษฟรอยด์
- จดบันทึกข้อมูลของตัวอย่างฝุ่น เช่น สิ่งปะปนที่อาจเป็นผงหรือเศษวัสดุต่างๆ
- นำตัวอย่างฝุ่นที่ร่อนแล้วบนกระดาษฟรอยด์เทลงในขวดแก้วแล้วปิดฝาให้แน่น
- นำตัวอย่างฝุ่นในขวดแก้วไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด
- จดบันทึกน้ำหนักฝุ่นแต่ละตัวอย่างโดยนำน้ำหนักขวดแก้วหลังใส่ตัวอย่างฝุ่นลบด้วยน้ำหนักขวดแก้วก่อนใส่ตัวอย่างฝุ่น
- นำตัวอย่างฝุ่นที่เตรียมเรียบร้อยแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอวิเคราะห์โลหะหนักต่อไป

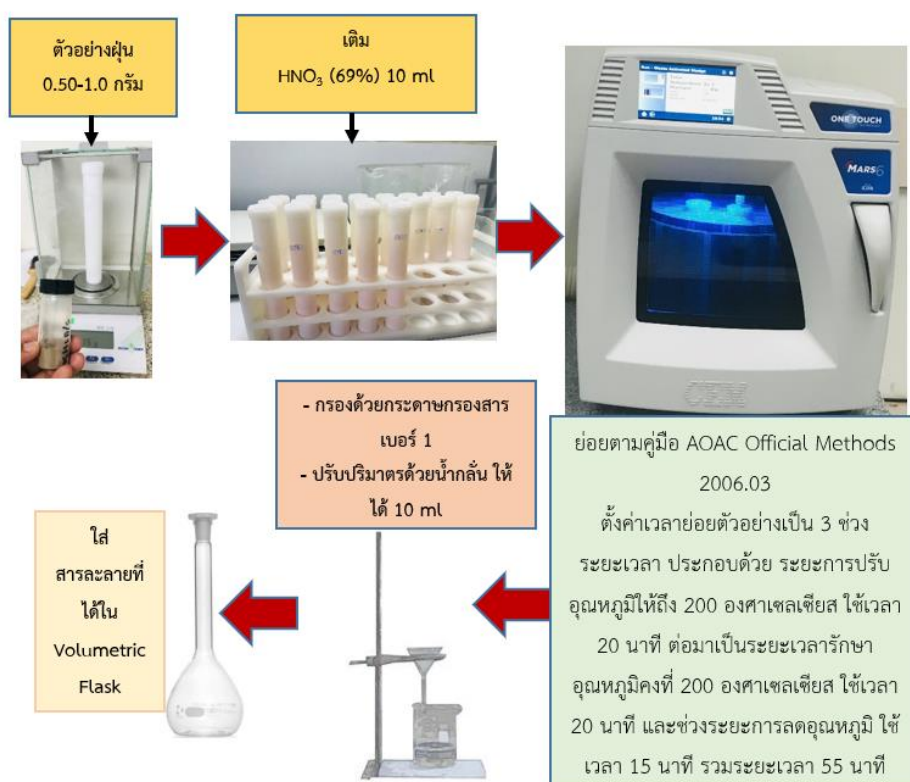
3.8.2 การเตรียมตัวอย่างฝุ่นเป็นสารละลายก่อนการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก
การเตรียมตัวอย่างฝุ่นเป็นสารละลายก่อนการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยการย่อยตัวอย่างฝุ่นด้วยกรดโดยวิธี Wet Oxidation จะดำเนินการตามคู่มือ AOAC Official Methods 2006.03 (Latimer G. W., 2016) ดังรูปที่ 3.4 ดังนี้

- นำตัวอย่างฝุ่น ตัวอย่างละ 0.5-1.0 กรัม ใส่ Vessel เติมกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 69% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

- นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อย Microwave Digestion CEM รุ่น MARS6 กำหนดวิธีการย่อยตามคู่มือ AOAC Official Methods 2006.03 ตั้งค่าเวลาย่อยตัวอย่างเป็น 3 ช่วง ระยะเวลา ประกอบด้วย ระยะการปรับอุณหภูมิให้ถึง 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที ต่อมาเป็นระยะเวลารักษาอุณหภูมิคงที่ 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที และช่วงระยะการลดอุณหภูมิ ใช้เวลา 15 นาที รวมระยะเวลา 55 นาที

- นำตัวอย่างไปกรองด้วยกระดาษกรองสารเบอร์ 1 ยี่ห้อ MACHEREY-NAGEL (MN) แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized Water) ให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นใส่สารละลายที่ได้ใน Volumetric Flask

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างฝุ่นเป็นสารละลายก่อนการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก



3.9 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในสารละลายตัวอย่าง

เมื่อเตรียมตัวอย่างฝุ่นเป็นสารละลายและปรับปริมาตรเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Avio 500 (Hinwood et al., 2013; Boss and Fredeen, 2004) นำค่าวิเคราะห์ที่ได้คำนวณหา ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละตัวในตัวอย่างฝุ่น โดยใช้สูตรดังนี้

$$C_s = ((I_c - B) \times D) / R \quad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ทดสอบ (mg/kg)
 I_c = ค่าความเข้มข้นของสารละลายจากเครื่องมือ (mg/L)
 B = ความเข้มข้น Reagent blank (mg/L)
 D = ปัจจัยเจือจาง
 R = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างฝุ่น

3.10 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์

3.10.1 การหาค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์ (Precision) สามารถดูได้จากค่า Coefficient of Variation (C.V.) หรือ Relative Standard Deviation (RSD) ยิ่งมีค่าน้อยมากเท่าไร ก็แสดงว่าการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น

$$C.V. = (SD/Mean) \times 100 \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ $C.V.$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน
 SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นที่อ่านได้
 $Mean$ = ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่อ่านได้

3.10.2 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจได้ (Limited of Detection: LOD)

$$LOD = 3SD \text{ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร} \quad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Absorbance

3.10.3 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบและอ่านค่าอย่างถูกต้อง (Limited of Quantitation: LOQ)

$$LOQ = 10SD \text{ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร} \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Absorbance

3.10.4 ร้อยละการได้คืนกลับ (% Recovery)

$$\% \text{ Recovery} = [(C_s - C_u) \times 100] / C \quad \text{สมการที่ 10}$$

เมื่อ C_s = ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน

C_u = ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่ไม่เติมสารมาตรฐาน

C = ปริมาณสารมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง

หมายเหตุ % Recovery ควรมีค่าอยู่ในช่วง 75-120% (AOAC, 2013)

3.10.5 วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ศึกษาในสารมาตรฐาน Standard Reference Material (SRM) จำนวน 10 ครั้ง เพื่อทดสอบความแม่นยำในการตรวจวิเคราะห์ โดยใช้ SRM 2584 Trace Elements in Indoor Dust (Nominal 1 % Lead) และ SRM 2711a (Montana II Soil)

3.10.6 จำนวนซ้ำของตัวอย่างที่วิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้แต่ละตัวอย่างจะทำวิเคราะห์ 3 ซ้ำ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ที่ได้ก่อนรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยต่อไป

3.11 วิธีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

3.11.1 การประเมินการสัมผัสโลหะหนักที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน

ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษาในตัวอย่างฝุ่นพื้นจะถูกนำมาคำนวณปริมาณที่ได้รับแยกคำนวณระหว่างเด็กผู้ชายและผู้หญิง (อายุ 6 เดือน ถึง 6 ปี) โดยการกลืนกินฝุ่นจากพฤติกรรมหยิบจับของเข้าปาก และผู้ใหญ่ผู้ชายและผู้หญิง (อายุมากกว่า 18 ปี) โดยการกลืนกินฝุ่นจากการปนเปื้อนอาหาร ดังนี้

- การคำนวณปริมาณที่ได้รับสำหรับสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Average Daily Intake: ADI) ตามสมการ ดังนี้

$$ADI = \frac{C \times CR \times CF \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

สมการที่ 1

เมื่อ	ADI	= ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
	C	= ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในฝุ่นระหว่างที่มีการสัมผัส (มก./กก.)
	CR	= อัตราการสัมผัส ปริมาณการสัมผัสตัวกลางที่ปนเปื้อนต่อหน่วยเวลา (เด็ก ใช้ค่า 200 มก./วัน และผู้ใหญ่ ใช้ค่า 100 มก./วัน)
	CF	= ค่าที่ใช้แปลงหน่วย (10^{-6} กก./มก.)
	FI	= สัดส่วนการรับประทานจากแหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อน (ไม่มีหน่วย) ใช้สำหรับคิดค่าการรับประทานเฉพาะปริมาณที่มีการปนเปื้อนในบางกรณี ความเข้มข้นที่อยู่ในฝุ่นบ้านอาจเท่ากับความเข้มข้นในดินที่อยู่นอกบ้าน ดังนั้นค่า FI จึงมีค่าเป็น 1.0
	EF	= ความถี่ของการสัมผัส (365 วัน/ปี)
	ED	= ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี) อ้างอิงตามข้อมูลอายุคาดเฉลี่ยของประชากรไทย ปี พ.ศ. 2566 ของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล เพศชาย 71.9 ปี เพศหญิง 80 ปี (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม, 2567)
	BW	= น้ำหนักร่างกาย น้ำหนักร่างกายตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.) (ผู้ใหญ่ผู้ชาย = 68.83 กก. ผู้ใหญ่ผู้หญิง = 57.40 กก. เด็กผู้ชาย = 11.62 กก. และเด็กผู้หญิง = 10.32 กก. (Muenhor et al., 2017)
	AT	= Average Time หรือระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (ใช้ค่า ED x 365 วัน/ปี)

- การคำนวณปริมาณที่ได้รับสำหรับสารก่อให้เกิดมะเร็ง เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (Chronic Daily Intake: CDI หรือ Lifetime Average Daily Doses: LADDs) ตามสมการ ดังนี้

$$LADDs = \frac{C \times CR \times CF \times FI \times EF \times ED}{BW \times LT}$$

สมการที่ 2

เมื่อ	LADDs	= ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
	C	= ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในฝุ่นระหว่างที่มีการสัมผัส (มก./กก.)

CR	= อัตราการสัมผัส ปริมาณการสัมผัสตัวกลางที่ปนเปื้อนต่อหน่วยเวลา (เด็ก ใช้ค่า 200 มก./วัน และผู้ใหญ่ ใช้ค่า 100 มก./วัน)
CF	= ค่าที่ใช้แปลงหน่วย (10^{-6} กก./มก.)
FI	= สัดส่วนการรับประทานจากแหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อน (ไม่มีหน่วย) ใช้สำหรับคิดค่าการรับประทานเฉพาะปริมาณที่มีการปนเปื้อนในบางกรณี ความเข้มข้นที่อยู่ในฝุ่นบ้านอาจเท่ากับความเข้มข้นในดินที่อยู่นอกบ้าน ดังนั้นค่า FI จึงมีค่าเป็น 1.0
EF	= ความถี่ของการสัมผัส (365 วัน/ปี)
ED	= ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี) อ้างอิงตามข้อมูลอายุคาดเฉลี่ยของประชากรไทย ปี พ.ศ. 2566 ของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล เพศชาย 71.9 ปี เพศหญิง 80 ปี (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม, 2567)
BW	= น้ำหนักร่างกาย น้ำหนักร่างกายตลอดระยะเวลาที่มีการสัมผัส (กก.) (ผู้ใหญ่ผู้ชาย = 68.83 กก. ผู้ใหญ่ผู้หญิง = 57.40 กก. เด็กผู้ชาย = 11.62 กก. และเด็กผู้หญิง = 10.32 กก. (Muenhor et al., 2017))
LT	= ระยะเวลาการสัมผัสตลอดชีวิต (ใช้ค่า $ED \times 365$ วัน/ปี)

3.11.2 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน

- ความเสี่ยงสำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ประเมินความเสี่ยงแบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทางการรับสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) อธิบายผ่านการคำนวณค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) ตามสมการ ดังนี้

$$HQ = \frac{ADI}{RfD}$$

สมการที่ 3

เมื่อ	HQ	= ค่าความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งที่ได้รับจากการกลืนกิน
	ADI	= ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับต่อวัน (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
	RfD	= Referance Dose หรือ ปริมาณสารที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการกินได้ทุกวัน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)

- การประเมินความเสี่ยงแบบหลายสารต่อหนึ่งเส้นทางการรับสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) ของโลหะหนักที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน อธิบายผ่านการคำนวณสัดส่วนแบบผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิดที่นำมาศึกษา คำนวณสัดส่วนแบบผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิดที่นำมาศึกษา (Hazard Index: HI) โดยนำค่า HQ ที่คำนวณได้ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกันมารวมกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ ดังสมการที่ 4

$$HI = \sum HQ$$

สมการที่ 4

- การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง เป็นการคำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิต (Excess Lifetime Cancer Risk: ELCR) โดยคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$ELCR = LADDs \times SF$$

สมการที่ 5

เมื่อ ELCR = ค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งเป็นการคำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิต
 LADDs = ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับรายวันเฉลี่ยตลอดอายุขัย ค่า LADDs ได้จากการประเมินการสัมผัส (มก./กก.-น้ำหนักร่างกาย/วัน)
 SF = Slope Factor หรือ ค่าปัจจัยความชัน (มก./กก./วัน)⁻¹

3.12 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.12.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปจากแบบสอบถามและข้อมูลฤดูกาล โดยใช้สถิติร้อยละ (Percent) ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.12.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักในฝุ่น ใช้สถิติดังนี้

- A One-way Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน

- Natural Logarithm และ Square Root กรณีข้อมูลแต่ละชุดมีการกระจายตัวไม่ปกติก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ ANOVA

- Least Significant Difference (LSD) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละฤดูกาล

3.13 การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง

พิทักษ์สิทธิ์ผู้ให้ข้อมูลตั้งแต่เริ่มกระบวนการเก็บข้อมูลวิจัย จนกระทั่งนำเสนอผลการวิจัย กล่าวคือ ก่อนเริ่มการศึกษาผู้วิจัยขออนุมัติการศึกษาวิจัยจากคณะกรรมการวิจัยในมนุษย์ ซึ่งโครงการวิจัยดังกล่าวผ่านการอนุมัติรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากสถาบันนโยบายสาธารณะ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เลขที่ EC007/64 ลงวันที่ 10 มิถุนายน 2564 โดยการดำเนินการวิจัยทุกขั้นตอนกลุ่มตัวอย่างจะต้องยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ ดังนั้นการลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัยจะต้องเป็นไปตามความสมัครใจของกลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งกลุ่มตัวอย่างสามารถออกจากการวิจัยได้ตลอดเวลา ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อ การดำเนินชีวิตและการประกอบอาชีพของกลุ่มตัวอย่าง ในกระบวนการวิจัยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับ คำชี้แจงถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย พร้อมทั้งบอกให้ทราบ เกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการวิจัย การขออนุญาตบันทึกเสียงทุกการดำเนินกิจกรรม ระยะเวลาแต่ละครั้งที่คาดว่าจะใช้ในการเก็บข้อมูล และสถานที่ที่ผู้กลุ่มตัวอย่างสะดวกที่สุด โดยคำนึงถึงความสะดวกสบายของกลุ่มตัวอย่างเป็นสำคัญ นอกจากนี้จะให้ความมั่นใจกับกลุ่มตัวอย่างว่าจะเก็บรักษาความลับอย่างดีไม่เปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคล การนำเสนอข้อมูลหากมีความจำเป็นต้อง อ้างอิงชื่อจะใช้นามสมมติแทน การให้ข้อมูลตามแบบสอบถามการวิจัยจากตัวแทนผู้อยู่อาศัยในบ้านที่เก็บตัวอย่างฝุ่น จำนวน 1 ราย สัมภาษณ์ข้อมูล ณ บ้านที่เก็บตัวอย่างฝุ่น โดยผู้ให้ข้อมูลจะต้องลงนาม ในเอกสารหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัย การดำเนินการสัมภาษณ์พร้อมทั้งสังเกตพฤติกรรมและ สิ่งแวดล้อมภายในบ้านและบริเวณบ้านก่อนการเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนของบ้านแต่ละหลัง

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นและความเสี่ยงต่อสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย สามารถสรุปประเด็นสำคัญเพื่อนำเสนอผลการศึกษาได้ 5 ประเด็น ดังนี้

4.1 ข้อมูลทั่วไป

4.2 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

4.3 ผลการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) ของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

4.4 ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

4.5 ผลการประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนเนื่องจากการรับสัมผัสโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

4.1 ข้อมูลทั่วไป

4.1.1 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

4.1.1.1 ภูมิสังคมและแผนที่ภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา บริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีลำคลองเป็นแหล่งน้ำสำคัญสำหรับการเกษตรและการอุปโภคบริโภคของประชาชน ปกครองท้องถิ่นโดยองค์การบริหารส่วนตำบล ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบ มีการเกษตร โดยเฉพาะการทำนาข้าวเป็นกิจกรรมหลัก รวมทั้งมีการปลูกพืชอื่นๆ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และ พืชผักสวนครัวที่ใช้บริโภคในครัวเรือน นอกจากนี้ยังมีการประกอบอาชีพเลี้ยงสัตว์ เช่น วัว ควาย และ หมู เป็นรายได้เสริม อีกทั้งยังมีการทำหัตถกรรมพื้นบ้าน เช่น การทอผ้า และการทำเครื่องจักสาน ซึ่งจำหน่ายในตลาดท้องถิ่นและนำไปขายในตลาดต่างจังหวัด แต่หลังคาเรือนที่ศึกษาจะมีอาชีพหลักคือ การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก โดยมีพ่อค้าคนกลางนำเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพที่ได้มาจากทั่วประเทศมาส่งให้แต่ละครัวเรือนคัดแยกชิ้นส่วนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้นำไปจำหน่าย

ลักษณะพื้นที่ศึกษามีการคมนาคมในพื้นที่ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ง่ายผ่านถนนที่เชื่อมต่อกับอำเภอและจังหวัดอื่น ๆ ในพื้นที่ใกล้เคียง

4.1.2 ประเพณีและวัฒนธรรมของพื้นที่ที่มีความหลากหลาย และได้รับอิทธิพลจากวิถีชีวิตของคนในพื้นที่ ประเพณีสำคัญที่สืบทอดกันมาอย่างยาวนาน ได้แก่

- ประเพณีบุญบั้งไฟ เป็นประเพณีที่จัดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน เป็นการบูชาพญาแถน หรือเทพเจ้าแห่งฝน เพื่อขอฝนสำหรับการเพาะปลูก ประชาชนในพื้นที่จะร่วมกันทำบั้งไฟและจุดขึ้นฟ้าในงานเทศกาล

- ประเพณีออกพรรษา จัดขึ้นในช่วงเดือนตุลาคม เพื่อเป็นการทำบุญตักบาตรและรำลึกถึงพระสงฆ์ที่ออกจากการจำพรรษา

- ประเพณีแห่เทียนพรรษา เป็นประเพณีที่จัดขึ้นในช่วงเข้าพรรษา โดยประชาชนจะทำขบวนแห่เทียนที่ตกแต่งอย่างสวยงามไปถวายที่วัด

4.1.3 บริบททางสังคม พื้นที่ศึกษามีโครงสร้างทางสังคมที่ผูกพันกันอย่างใกล้ชิด ในลักษณะของชุมชนชนบท ประชาชนส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อกันเนื่องจากการอยู่ร่วมกันมาอย่างยาวนาน เป็นเครือญาติกัน มีการรวมกลุ่มเพื่อทำกิจกรรมทางศาสนาและสังคมอย่างสม่ำเสมอ เช่น การทำบุญที่วัด การช่วยเหลือกันในงานประเพณี หรือการร่วมมือกันในงานกิจกรรมต่างๆ ของชุมชน

4.1.4 สภาพภูมิอากาศ พื้นที่ศึกษามีภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่มซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทั้งมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้สภาพภูมิอากาศมีความหลากหลายตามฤดูกาล อ้างอิงข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า ในปี พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565 พื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และลักษณะสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล ตามช่วงฤดูกาลที่เก็บตัวอย่าง ดังนี้

4.1.4.1 ฤดูฝน (เดือนมิถุนายน-ตุลาคม) ฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นำพาความชื้นจากทะเลอันดามันเข้ามาจึงมีฝนตกชุก โดยเฉพาะในเดือนสิงหาคมและกันยายน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 150-300 มิลลิเมตรต่อเดือน บางพื้นที่เกิดน้ำท่วมเนื่องจากฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานาน แต่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาไม่มีน้ำท่วมในพื้นที่

4.1.4.2 ฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ฤดูหนาวเริ่มต้นตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส ซึ่งได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนำความเย็นมาจากประเทศจีน

4.1.4.3 ฤดูร้อน (เดือนมีนาคม-พฤษภาคม) ฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมและสิ้นสุดในเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 35-38 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาดังกล่าวพื้นที่ศึกษาเกิดพายุฤดูร้อนซึ่งมีลมกระโชกแรงและฝนฟ้าคะนองบางส่วน

4.1.5 ทิศทางลมและความแรงของลมตามฤดูกาลของพื้นที่ศึกษา อ้างอิงตามกรมอุตุนิยมวิทยา

4.1.5.1 ฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ทิศทางลมในช่วงฤดูร้อน ลมที่พัดเข้ามายังพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่เริ่มเข้าสู่ประเทศไทยในช่วงปลายฤดูร้อน ความแรงของลมในฤดูร้อนค่อนข้างเบา โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5-10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ในบางวันอาจมีลมกระโชกแรงที่เกิดจากพายุฝนฟ้าคะนอง ความแรงอาจเพิ่มขึ้นเป็น 20-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.1.5.1 ฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) ทิศทางลมฤดูฝนเป็นช่วงที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดเข้ามาเต็มที่ ทำให้ลมที่พัดผ่านพื้นที่ศึกษามีทิศทางจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ ความแรงของลมในฤดูฝนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฤดูร้อน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 10-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในช่วงที่เกิดพายุหรือฝนตกหนัก ความแรงของลมอาจสูงขึ้นถึง 30-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.1.5.3 ฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ทิศทางลมในฤดูหนาวมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ความแรงของลมในฤดูหนาวโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5-15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นลมที่มีความเย็นและแห้ง ความแรงของลมจะเพิ่มขึ้นในช่วงเช้าและช่วงค่ำ

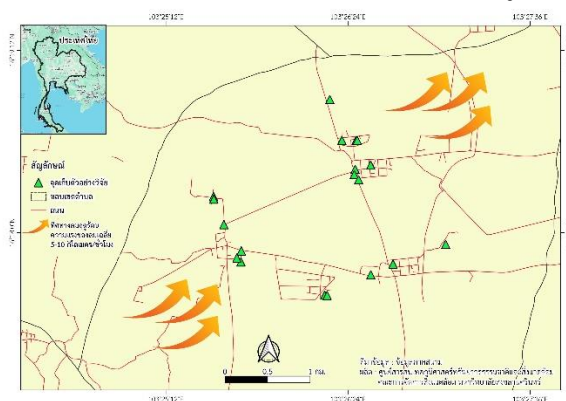
4.1.6 สภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างแต่ละฤดูกาล ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างฝนในแต่ละฤดูกาล

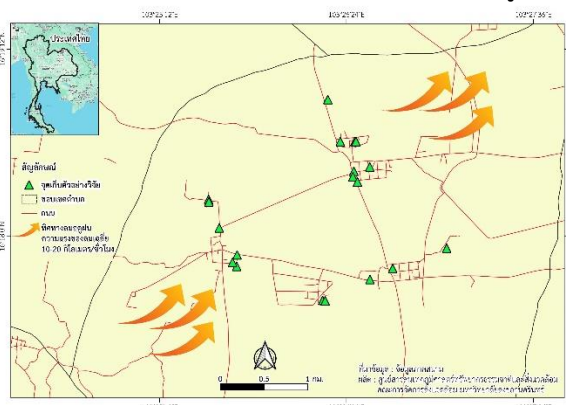
สภาพภูมิอากาศ	ฤดูฝน (ค่าเฉลี่ยวันเก็บตัวอย่าง วันที่ 5-7 ส.ค. 2564)	ฤดูหนาว (ค่าเฉลี่ยวันเก็บตัวอย่าง วันที่ 23-25 ธ.ค. 2564)	ฤดูร้อน (ค่าเฉลี่ยวันเก็บตัวอย่าง วันที่ 23-25 มี.ค. 2565)
อุณหภูมิ	28.32 °C เฉลี่ย 7 วัน 27.56 °C	25.19 °C เฉลี่ย 7 วัน 25.49 °C	28.76 °C เฉลี่ย 7 วัน 28.55 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	86.58% เฉลี่ย 7 วัน 88.63%	77.84% เฉลี่ย 7 วัน 75.72%	78.79% เฉลี่ย 7 วัน 80.07%
ปริมาณฝน	5.73 มม. เฉลี่ย 7 วัน 9.59 มม.	0 มม. เฉลี่ย 7 วัน 0 มม.	0.4 มม. เฉลี่ย 7 วัน 5.70 มม.
ทิศทาง/ความเร็วลม	1.08 นอต เฉลี่ย 7 วัน 1.70 นอต	0.29 นอต เฉลี่ย 7 วัน 0.77 นอต	1.42 นอต เฉลี่ย 7 วัน 1.45 นอต

4.1.7 แผนที่ทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่เก็บข้อมูลตัวอย่างวิจัย จำนวน 19 หลังคาเรือน จำแนกตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) เพื่อแสดงทิศทางและความแรงของลมแต่ละฤดูกาล ดังรูปที่ 4.1-4.3

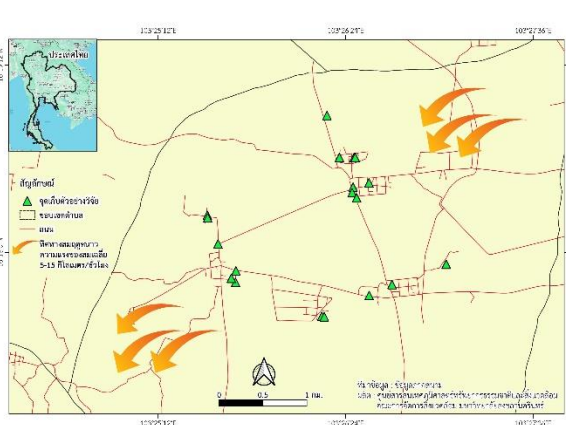
รูปที่ 4.1 แผนที่ภูมิศาสตร์พื้นที่เก็บตัวอย่างวิจัยและทิศทางลมฤดูร้อน



รูปที่ 4.2 แผนที่ภูมิศาสตร์พื้นที่เก็บตัวอย่างวิจัยและทิศทางลมฤดูฝน



รูปที่ 4.3 แผนที่ภูมิศาสตร์พื้นที่เก็บตัวอย่างวิจัยและทิศทางลมฤดูหนาว



4.1.3 ข้อมูลสุขภาพส่วนบุคคล

4.1.3.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูล การศึกษาครั้งนี้ นอกจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนเป็นหลักเพื่อการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด และคำนวณค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพแล้ว ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทั่วไปของหลังคาเรือนที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นร่วมด้วย โดยการสัมภาษณ์สมาชิกในหลังคาเรือนที่เก็บตัวอย่างฝุ่น จำนวน 1 ราย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการรายงานผลการศึกษาที่สำคัญ ผลการศึกษาครั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 63.16 ทั้งหมดมีสัญชาติไทย และนับถือศาสนาพุทธ มีอายุอยู่ในช่วง 51-60 ปี ร้อยละ 42.10 รองลงมาคือ ช่วงอายุ 41-50 ปี อายุต่ำสุด 32 ปี อายุสูงสุด 70 ปี อายุเฉลี่ย 49.95 ปี ส่วนสูงส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 150-160 เซนติเมตร ร้อยละ 63.16 มีความสูงเฉลี่ย 159.95 เซนติเมตร น้ำหนักอยู่ในช่วง 56-70 กิโลกรัม ร้อยละ 57.89 น้ำหนักเฉลี่ย 62.84 กิโลกรัม ระดับการศึกษาสูงสุดระดับประถมศึกษา ร้อยละ 68.42 รองลงมาคือ มัธยมศึกษา ร้อยละ 31.58 ส่วนใหญ่สถานภาพสมรส ร้อยละ 89.47 โดยอาชีพหลักของครอบครัว คือ การค้าแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ร้อยละ 78.95 ส่วนอาชีพรองของครอบครัว มากที่สุดคือ อาชีพเกษตรกร (ทำนา) ร้อยละ 78.95 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีประวัติเคยทำงานในโรงงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ร้อยละ 73.68 ก่อนจะออกมาประกอบกิจการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในระดับครัวเรือนของตนเอง กลุ่มตัวอย่างที่เคยทำงานในโรงงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่เคยทำงานเป็นระยะเวลา 6-10 ปี ร้อยละ 42.86 รองลงมาคือ ระยะเวลา 1-5 ปี ร้อยละ 28.56 ระยะเวลาต่ำสุด 3 ปี ระยะเวลาสูงสุด 20 ปี ระยะเวลาเฉลี่ย 10.50 ปี ข้อมูลสมาชิกที่อาศัยภายในบ้านที่เก็บตัวอย่าง จำนวน 1-3 คน และ จำนวน 4-6 คน ร้อยละ 36.84 เท่ากัน จำนวนสมาชิกต่ำสุด 2 คน สูงที่สุด 11 คน ค่าเฉลี่ย 4.89 คน ผู้อาศัยในบ้านที่เก็บตัวอย่างวิจัยทั้ง 19 หลังคาเรือน รวมจำนวน 93 คน โดยแบ่งเป็นวัยแรงงาน (อายุ 15-59 ปี) ร้อยละ 53.76 รองลงมาคือ วัยเรียน (อายุ 6-14 ปี) ร้อยละ 21.51 วัยเด็ก (อายุ 1-5 ปี) ร้อยละ 17.20 และวัยผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) ร้อยละ 7.53 ด้านระยะเวลาในการทำงานทุกกระบวนการของการคัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ 4-6 ชั่วโมง/วัน และ 7-10 ชั่วโมง/วัน ร้อยละ 47.37 เท่ากัน ระยะเวลาทำงานน้อยที่สุด 3 ชั่วโมง/วัน มากที่สุด 10 ชั่วโมง/วัน เฉลี่ย 6.58 ชั่วโมง/วัน ส่วนจำนวนวันในการทำงานทุกกระบวนการของการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่ทำงาน 6-7 วัน/สัปดาห์ ร้อยละ 42.10 น้อยที่สุด 3 วัน/สัปดาห์ มากที่สุด 7 วัน/สัปดาห์ เฉลี่ย 5.21 วัน/สัปดาห์ ประเด็นด้านสุขภาพของผู้ให้สัมภาษณ์ พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 78.95 และได้มีการตรวจสุขภาพประจำปีเป็นประจำทุกปี ร้อยละ 84.21 โดยโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในพื้นที่บริการตรวจประเมินสุขภาพพื้นฐาน เช่น การตรวจคัดกรองโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง ตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูก มะเร็งเต้านม และมะเร็งลำไส้ใหญ่ แต่การเจาะเลือดเพื่อประเมินค่าความเสี่ยงทางสุขภาพอื่นๆ มีการตรวจเป็นครั้งคราว ข้อมูลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูลบ้านแต่ละหลังที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศ		
- ชาย	7	36.84
- หญิง	12	63.16
2. สัญชาติ		
- ไทย	19	100
- ไม่ใช่สัญชาติไทย	0	0
3. ศาสนา		
- พุทธ	19	100
- อื่นๆ อิสลาม, คริสต์ ฯลฯ	0	0
4. กลุ่มอายุ		
- 30-40 ปี	2	10.53
- 41-50 ปี	7	36.84
- 51-60 ปี	8	42.10
- มากกว่า 60 ปี	2	10.53
Min = 32 ปี, Max = 70 ปี, $\bar{x}$ = 49.95 ปี, SD = 9.77 ปี		
5. ส่วนสูง		
- 150-160 เซนติเมตร	12	63.16
- มากกว่า 160 เซนติเมตร	7	36.84
Min = 150 ซม., Max = 170 ซม., $\bar{x}$ = 159.26 ซม., SD = 5.73 ซม.		
6. น้ำหนัก		
- 40-55 กิโลกรัม	6	31.58
- 56-70 กิโลกรัม	11	57.89
- มากกว่า 70 กิโลกรัม	2	10.53
Min = 40 กก., Max = 70 กก., $\bar{x}$ = 62.84 กก., SD = 12.04 กก.		
7. การศึกษา		
- ประถมศึกษา	13	68.42
- มัธยมศึกษา	6	31.58

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูลบ้านแต่ละหลังที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
8. สถานภาพ		
- สมรส	17	89.47
- หม้าย/หย่า/แยก	2	10.53
9. อาชีพหลักในปัจจุบัน		
- คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	15	78.95
- เกษตรกรรม	4	21.05
10. อาชีพรองในปัจจุบัน		
- คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	4	21.05
- เกษตรกรรม	15	78.95
11. ประวัติการทำงานในโรงงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์		
- ไม่เคยทำ	5	26.32
- เคยทำ	14	73.68
12. ระยะเวลาที่เคยทำงานในโรงงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (n=14)		
- 1-5 ปี	4	28.56
- 6-10 ปี	6	42.86
- มากกว่า 10 ปี	4	28.57
Min = 3 ปี, Max = 20 ปี, $\bar{X}$ = 10.50 ปี, SD = 5.42 ปี		
13. จำนวนสมาชิกในภายในบ้าน		
- 1-3 คน	7	36.84
- 4-6 คน	7	36.84
- มากกว่า 6 คน	5	26.32
Min = 2 คน, Max = 11 คน, $\bar{X}$ = 4.89 คน, SD = 2.34 คน		
14. ผู้ที่อาศัยในบ้าน (n= 93)		
- เด็ก (อายุ 1-5 ปี)	16	17.20
- วัยเรียน (อายุ 6-14 ปี)	20	21.51
- วัยแรงงาน (อายุ 15-59 ปี)	50	53.76
- ผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป)	7	7.53

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูลบ้านแต่ละหลังที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
15. ระยะเวลาในการทำงานแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์		
- 1-3 ชั่วโมง/วัน	1	5.26
- 4-6 ชั่วโมง/วัน	9	47.37
- 7-10 ชั่วโมง/วัน	9	47.37
Min = 3 ชั่วโมง/วัน, Max = 10 ชั่วโมง/วัน, $\bar{X}$ = 6.58 ชั่วโมง/วัน, SD = 1.98 ชั่วโมง/วัน		
16. จำนวนวันในการทำงานแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์		
- 2-3 วัน/สัปดาห์	5	26.32
- 4-5 วัน/สัปดาห์	6	31.58
- 6-7 วัน/สัปดาห์	8	42.10
Min = 3 วัน/สัปดาห์, Max = 7 วัน/สัปดาห์, $\bar{X}$ = 5.21 วัน/สัปดาห์, SD = 1.65 วัน/สัปดาห์		
17. โรคประจำตัว		
- มี (ความดันโลหิตสูง เบาหวาน)	4	21.05
- ไม่มี	15	78.95
18. การตรวจสุขภาพประจำปี		
- ได้ตรวจสุขภาพประจำปี	16	84.21
- ไม่ได้ตรวจสุขภาพประจำปี	3	15.79

4.1.3.2 ข้อมูลอนามัยส่วนบุคคล พบว่า ก่อนรับประทานอาหารเช้า กลุ่มตัวอย่างมีการทำความสะอาดมือทุกครั้ง ร้อยละ 87.47 โดยใช้น้ำประปาทำความสะอาด ร้อยละ 78.95 ส่วนใหญ่ทำความสะอาดมือโดนใช้น้ำเปล่าและน้ำสบู่ ร้อยละ 63.16 บางครั้งใช้มือและบางครั้งใช้ช้อนในการรับประทานอาหารเช้า ร้อยละ 78.95 ลักษณะอาหารที่มักรับประทานสม่ำเสมอ คือ อาหารปรุงเอง ร้อยละ 89.47 แหล่งที่มาของวัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากหลายแหล่ง ทั้งจากตลาด และปลูกเอง ร้อยละ 52.63 ส่วนใหญ่ร้อยละ 84.21 เคยรับประทานปลาและสัตว์น้ำจากคลองในพื้นที่ ทุกหลังคาเรือนซื้อน้ำบรรจุขวดมาบริโภค แต่น้ำสำหรับอุปโภคได้มาจากน้ำประปาหมู่บ้าน ร้อยละ 89.47 ส่วนใหญ่ไม่สูบบุหรี่และไม่ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 79.95 และ 68.42 ตามลำดับ ขณะปฏิบัติงานมีการสวมใส่รองเท้าเป็นประจำ ร้อยละ 84.21 ส่วนการใช้เครื่องสำอางส่วนใหญ่ไม่เคยใช้ ร้อยละ 63.16 และไม่เคยย้อมผม/ทำสีผม ร้อยละ 68.42 รายละเอียดตามตารางที่ 4.3

4.1.3.3 พฤติกรรมการป้องกันตนเองจากสารปนเปื้อนที่เกิดจากการปฏิบัติงาน จากการสังเกตพฤติกรรมช่วงระหว่างปฏิบัติงานร่วมกับการสอบถาม พบว่า ก่อนรับประทานอาหารได้ทำความสะอาดมือ ร้อยละ 89.47 ใช้ช้อนในการตักอาหาร ร้อยละ 63.16 สวมใส่รองเท้านขณะปฏิบัติงาน ร้อยละ 89.47 ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลบางอย่าง ร้อยละ 57.89 ดังตารางที่ 4.4

4.1.3.4 การจัดการสภาพแวดล้อมในสถานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า มีการจัดการโดยการกวาดรวบรวมไว้รอกำจัด ร้อยละ 84.21 และกำจัดโดยการนำไปทิ้ง/ทำลายที่กองขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ร้อยละ 84.21 รายละเอียดดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล

ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล	จำนวน	ร้อยละ
1. การทำความสะอาดมือก่อนรับประทานอาหาร		
- ทุกครั้ง	17	89.47
- บางครั้ง	2	10.53
2. แหล่งน้ำที่ใช้ทำความสะอาดมือ		
- น้ำบาดาล	4	21.05
- น้ำประปา	15	78.95
3. ทำความสะอาดมือโดย		
- น้ำเปล่าและน้ำสบู	12	63.16
- บางครั้งล้างเฉพาะน้ำเปล่า บางครั้งล้างด้วยสบู่	7	36.84
4. อุปกรณ์ที่ใช้เวลารับประทานอาหาร		
- มือ	3	15.79
- ช้อน	1	5.26
- บางครั้งใช้มือ บางครั้งใช้ช้อน	15	78.95
5. ลักษณะอาหารที่รับประทานสม่ำเสมอ		
- ประดูด้วยตนเอง	17	89.47
- อาหารสำเร็จรูป	2	10.53
6. แหล่งที่มาของวัตถุดิบส่วนใหญ่มาจาก		
- ตลาด	9	47.37
- มาจากหลายแหล่ง	10	52.63

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล	จำนวน	ร้อยละ
7. การรับประทานปลาและสัตว์น้ำจากคลองในพื้นที่		
- ไม่เคย	3	15.79
- เคย	16	84.21
8. แหล่งน้ำที่ใช้ในการบริโภค		
- น้ำดื่มบรรจุขวด	19	100
9. แหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภค		
- น้ำประปา	17	89.47
- น้ำบาดาล	2	10.53
10. พฤติกรรมการสูบบุหรี่		
- ไม่สูบ	15	79.95
- สูบจนถึงปัจจุบัน	4	21.05
11. พฤติกรรมการดื่มแอลกอฮอล์		
- ไม่ดื่ม	13	68.42
- เคยดื่ม แต่เลิกแล้ว	1	5.26
- ดื่มจนถึงปัจจุบัน	5	26.32
12. การสวมรองเท้าขณะปฏิบัติงาน		
- สวมประจำ	16	84.21
- สวมบางครั้ง	3	15.79
13. การใช้เครื่องสำอาง		
- ไม่เคยใช้	12	63.16
- เคยใช้แต่เลิกแล้ว	1	5.26
- ปัจจุบันยังใช้อยู่	6	31.58
14. ใช้เครื่องสำอางบ่อยแค่ไหน		
- บางเวลา	13	68.42
- ประจำ	6	31.58

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล	จำนวน	ร้อยละ
15. การยอมผม/ทำสีผม		
- ไม่เคยทำ	13	68.42
- เคยทำ แต่เลิกแล้ว	3	15.79
- ปัจจุบันยังใช้อยู่	3	15.79
16. ความถี่ของการยอมผม/ทำสีผม (n=3)		
- บางเวลา ประมาณปีละ 1 ครั้ง	2	66.67
- ประจำ ประมาณ 3-6 เดือน/ครั้ง	1	33.33

ตารางที่ 4.4 พฤติกรรมการป้องกันตนเองจากสารปนเปื้อนที่เกิดจากการปฏิบัติงานจากการสังเกต
พฤติกรรมช่วงระหว่างปฏิบัติงานร่วมกับการสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปด้านอนามัยส่วนบุคคล	จำนวน	ร้อยละ
1. พฤติกรรมการทำความสะอาดมือก่อนรับประทานอาหาร		
- ทำความสะอาดมือ	17	89.47
- ไม่ได้ทำความสะอาดมือ	2	10.53
2. พฤติกรรมการรับประทานอาหาร		
- ใช้ช้อน	12	63.16
- ใช้มือ	7	36.84
3. พฤติกรรมการสวมรองเท้า		
- สวม	17	89.47
- ไม่สวม	2	10.53
4. การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (ถุงมือ ผ้าปิดจมูก ผ้ากันเปื้อน หมวก แว่นตา)		
- ใช้บางอย่าง	11	57.89
- ไม่ได้ใช้	8	42.11

ตารางที่ 4.5 การจัดการสภาพแวดล้อมในสถานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

การจัดการสภาพแวดล้อม	จำนวน	ร้อยละ
1. การจัดการเศษเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ตกหล่นบนพื้น		
- กวาดทั้งหน้าบ้าน	3	15.79
- กวาดรวบรวมไว้รอกำจัด	16	84.21
2. การกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์และเศษอุปกรณ์ที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้ว		
- หิ้วรวมในถังขยะ อบต.	3	15.79
- นำไปทิ้ง/ทำลายที่กองขยะ อบต.	16	84.21

4.1.2 ข้อมูลทั่วไปของบริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้น

4.1.2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณห้องนอน พบว่า การระบายอากาศภายในห้องนอน ส่วนใหญ่ใช้พัดลม ร้อยละ 89.47 บริเวณพื้นภายในห้องไม่มีการปูพรม ร้อยละ 78.95 มีการทาสีผนังห้อง ร้อยละ 57.89 สภาพสียังคงทนไม่ลอก อายุของตัวอาคาร ส่วนใหญ่มีอายุ 21 ปีขึ้นไป ร้อยละ 47.37 รองลงมา มีอายุ 11-20 ปี ร้อยละ 31.58 ส่วนปัจจัยด้านความหนาแน่นของการจราจรภายนอกอาคาร ทุกหลังคาเรือนมีความหนาแน่นต่ำ ประเด็นความถี่ของการทำความสะอาดพื้นห้อง ส่วนใหญ่ทำความสะอาดสัปดาห์ละ 1-3 ครั้ง ร้อยละ 73.68 รองลงมา ทำความสะอาดสัปดาห์ละ 7-9 ครั้ง ร้อยละ 21.05 ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีในห้องนอน ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ 2 เครื่อง อายุการใช้งาน 4 ปี 1 เครื่อง และ 8 ปี 1 เครื่อง มีโทรทัศน์ จำนวน 5 เครื่อง อายุการใช้งาน 1-5 ปี 3 เครื่อง และ 6-10 ปี 2 เครื่อง มีพัดลม 17 ตัว ส่วนใหญ่อายุการใช้งาน 6-10 ปี ร้อยละ 41.18 และมีเครื่องเสียง จำนวน 3 เครื่อง อายุการใช้งาน 11-20 ปี ร้อยละ 66.67 ดังตารางที่ 4.6

4.1.2.2 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณห้องนั่งเล่น พบว่า การระบายอากาศภายในห้องนอน ส่วนใหญ่ใช้พัดลม ร้อยละ 68.42 รองลงมา ลมธรรมชาติ ร้อยละ 26.32 บริเวณพื้นภายในห้องไม่มีการปูพรม ร้อยละ 78.95 ผนังห้องไม่มีการทาสี ร้อยละ 52.63 อายุของตัวอาคาร ส่วนใหญ่มีอายุ 21 ปีขึ้นไป ร้อยละ 47.37 ความหนาแน่นของการจราจรภายนอกอาคาร ทุกหลังคาเรือนมีความหนาแน่นต่ำ การทำความสะอาดพื้นห้อง ส่วนใหญ่ทำความสะอาดสัปดาห์ละ 1-3 ครั้ง ร้อยละ 63.16 ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีในห้องนั่งเล่น ประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ ตู้เย็น โทรทัศน์ พัดลม และเครื่องปรับอากาศ อายุการใช้งาน ตั้งแต่ 1 ปี ถึง 25 ปี ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอน

รายละเอียดของห้องเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน	จำนวน	ร้อยละ
1. การระบายอากาศภายในห้อง		
- เครื่องปรับอากาศ	2	10.53
- พัดลม	17	89.47
2. การใช้พรมปูพื้น		
- มี	4	21.05
- ไม่มี	15	78.95
3. การทาสีฝาผนัง		
- ทาสี	11	57.89
- ไม่ทาสี	8	42.11
4. อายุของตัวอาคาร		
- 1-10 ปี	4	21.05
- 11-20 ปี	6	31.58
- 21 ปีขึ้นไป	9	47.37
5. ความหนาแน่นของการจราจรภายนอกอาคาร		
- ต่ำ	19	100
- ปานกลาง	0	0
- สูง	0	0
6. ความถี่ในการทำมาสะอาดพื้นห้อง		
- 1-3 ครั้ง/สัปดาห์	14	73.68
- 4-6 ครั้ง/สัปดาห์	1	5.26
- 7-9 ครั้ง/สัปดาห์	4	21.05
7. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีในห้องนอน		
7.1 จำนวนเครื่องปรับอากาศ	2	
7.2 อายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศ (n=2)		
- 1-5 ปี	1	50.00
- 6-10 ปี	1	50.00
Min = 4 ปี, Max = 8 ปี, $\bar{x}$ = 6.00 ปี, SD = 2.83 ปี		

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอน (ต่อ)

รายละเอียดของห้องเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน	จำนวน	ร้อยละ
7.3 จำนวนโทรทัศน์	5	
7.4 อายุการใช้งานโทรทัศน์ (n=5)		
- 1-5 ปี	3	60.00
- 6-10 ปี	2	40.00
Min = 2 ปี, Max = 10 ปี, $\bar{X}$ = 5.00 ปี, SD = 3.91 ปี		
7.5 จำนวนพัดลม	17	
7.6 อายุการใช้งานพัดลม (n=17)		
- 1-5 ปี	6	35.29
- 6-10 ปี	7	41.18
- 11-15 ปี	4	23.53
Min = 1 ปี, Max = 15 ปี, $\bar{X}$ = 7.76 ปี, SD = 4.25 ปี		
7.7 จำนวนเครื่องเสียง	3	
7.8 อายุการใช้งานเครื่องเสียง (n=3)		
- 11-20 ปี	2	66.67
- 21-30 ปี	1	33.33

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น

รายละเอียดของห้องเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น	จำนวน	ร้อยละ
1. การระบายอากาศภายในห้อง		
- ลมธรรมชาติ	5	26.32
- เครื่องปรับอากาศ	1	5.26
- พัดลม	13	68.42
2. การใช้พรมปูพื้น		
- มี	4	21.05
- ไม่มี	15	78.95

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น (ต่อ)

รายละเอียดของห้องเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น	จำนวน	ร้อยละ
3. การทาสีฝาผนัง		
- ทาสี	9	47.37
- ไม่ทาสี	10	52.63
4. อายุของตัวอาคาร		
- 1-10 ปี	4	21.05
- 11-20 ปี	6	31.58
- 21 ปีขึ้นไป	9	47.37
5. ความหนาแน่นของการจราจรภายนอกอาคาร		
- ต่ำ	19	100
- ปานกลาง	0	0
- สูง	0	0
6. ความถี่ในการทำมาสะอาดพื้นห้อง		
- 1-3 ครั้ง/สัปดาห์	12	63.16
- 4-6 ครั้ง/สัปดาห์	1	5.26
- 7-9 ครั้ง/สัปดาห์	6	31.58
7. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีในห้องนอน		
7.1 จำนวนคอมพิวเตอร์	1	
7.2 อายุการใช้งานคอมพิวเตอร์ (n=1)		
- 10 ปี	1	100
7.3 จำนวนตู้เย็น	7	
7.4 อายุการใช้งานตู้เย็น (n=7)		
- 1-5 ปี	3	42.86
- 6-10 ปี	2	28.57
- 11-15 ปี	2	28.57
Min = 5 ปี, Max = 15 ปี, $\bar{x}$ = 9.43 ปี, SD = 4.35 ปี		
7.5 จำนวนโทรทัศน์	13	

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น (ต่อ)

รายละเอียดของห้องเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น	จำนวน	ร้อยละ
7.6 อายุการใช้งานโทรทัศน์ (n=13)		
- 1-10 ปี	10	76.92
- 11-20 ปี	2	15.39
- 21-30 ปี	1	7.69
Min = 1 ปี, Max = 25 ปี, $\bar{X}$ = 10.23 ปี, SD = 6.61 ปี		
7.7 จำนวนพัดลม	13	
7.8 อายุการใช้งานพัดลม (n=13)		
- 1-5 ปี	4	30.77
- 6-10 ปี	7	53.85
- 11-15 ปี	2	15.38
Min = 2 ปี, Max = 13 ปี, $\bar{X}$ = 7.31 ปี, SD = 3.40 ปี		
7.9 จำนวนเครื่องปรับอากาศ	1	
7.10 อายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศ (n=1)		
- 14 ปี	1	100

4.2 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Avio 500 โดยก่อนการดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ได้ทำการทดสอบเครื่อง ICP-OES เพื่อการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ ผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 ผลการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ พบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจได้ (Limited of Detection: LOD) ของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เท่ากับ 0.04 mg/kg ส่วนค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบและอ่านค่าอย่างถูกต้อง (Limited of Quantitation: LOQ) ของตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม เท่ากับ 0.13 mg/kg และสารหนู เท่ากับ 0.21 mg/kg ร้อยละการได้คืนกลับ (% Recovery) สำหรับ Standard Reference Material (SRM)

SRM 2584 Trace Elements in Indoor Dust (Nominal 1 % Lead) ตะกั่ว เท่ากับ ร้อยละ 91.97 แคดเมียม เท่ากับร้อยละ 93.67 สารหนู เท่ากับ ร้อยละ 88.85 และ โครเมียม เท่ากับ ร้อยละ 89.40 ส่วน SRM 2711a (Montana II Soil) แคดเมียม เท่ากับร้อยละ 91.53 สารหนู เท่ากับ ร้อยละ 94.39 และ โครเมียม เท่ากับ ร้อยละ 89.38 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์และร้อยละการคืนกลับ

การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limited of Detection: LOD) (mg/kg)	0.04	0.04	0.04	0.04
ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบและอ่านค่าอย่างถูกต้อง (Limited of Quantitation: LOQ) (mg/kg)	0.13	0.13	0.21	0.13
Standard Reference Material (SRM) SRM 2584 Trace Elements in Indoor Dust (Nominal 1 % Lead) (%)	91.97	93.67	88.85	89.40
Standard Reference Material (SRM) SRM 2711a (Montana II Soil) (%)	-	91.53	94.39	89.38

4.2.2 ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในฝุ่นพื้นช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดทั้งบริเวณห้องนอนและห้องนั่งเล่น เท่ากับ 196.45 และ 188.43 mg/kg ตามลำดับ รองลงมาคือช่วงฤดูหนาว มีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน เท่ากับ 162.63 และ 160.82 mg/kg ตามลำดับ เมื่อจำแนกค่าเฉลี่ยทุกฤดูกาลรายหลังคาเรือน พบว่า บ้านหลังที่ 1, 11, 9 และ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 326.20, 220.34, 198.42 และ 191.72 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในฝุ่นพื้นสูงที่สุดแต่ละฤดูกาล พบว่า ฤดูร้อนบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 577.37 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 595.88 mg/kg ฤดูฝนบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 119.63 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 15 เท่ากับ 143.21 mg/kg และฤดูหนาวบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 2 เท่ากับ 498.00 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 11 เท่ากับ 551.97 mg/kg ดังตารางที่ 4.9

4.2.3 ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 1.19 mg/kg รองลงมาคือ ช่วงฤดูหนาวบริเวณห้องนอนและห้องนั่งเล่น เท่ากับ 1.02 และ 1.01 mg/kg ตามลำดับ เมื่อจำแนกค่าเฉลี่ยทุกฤดูกาลรายหลังคาเรือน พบว่า บ้านหลังที่ 14 และ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 1.56 และ 1.40 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นสูงที่สุดแต่ละฤดูกาล พบว่า ฤดูร้อนบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 3.73 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 2.83 mg/kg ฤดูฝนบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 11 เท่ากับ 0.73 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 8 และ 9 มีปริมาณความเข้มข้นเท่ากัน คือ 0.69 mg/kg และฤดูหนาวบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 14 เท่ากับ 2.57 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 14 เท่ากับ 3.61 mg/kg ดังตารางที่ 4.10

4.2.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในฝุ่นพื้นช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยสูงสุดทั้งบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน เท่ากับ 0.97 และ 0.82 mg/kg ตามลำดับ เมื่อจำแนกค่าเฉลี่ยทุกฤดูกาลรายหลังคาเรือน พบว่า บ้านหลังที่ 19 และ 11 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 1.49 และ 1.26 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นสูงที่สุดแต่ละฤดูกาล พบว่า ฤดูร้อนบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 13 เท่ากับ 2.70 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 19 เท่ากับ 3.74 mg/kg ฤดูฝนบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 19 เท่ากับ 1.54 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 19 เท่ากับ 2.14 mg/kg และฤดูหนาวบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 17 เท่ากับ 2.91 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 6 เท่ากับ 3.72 mg/kg ดังตารางที่ 4.11

4.2.5 ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในฝุ่นพื้นช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดทั้งบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน เท่ากับ 64.30 และ 58.57 mg/kg ตามลำดับ เมื่อจำแนกค่าเฉลี่ยทุกฤดูกาลรายหลังคาเรือน พบว่า บ้านหลังที่ 2 และ 9 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 84.10 และ 67.84 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นสูงที่สุดแต่ละฤดูกาล พบว่า ฤดูร้อนบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 9 เท่ากับ 114.12 และ 139.74 mg/kg ฤดูฝนบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 12 เท่ากับ 44.12 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 17 เท่ากับ 79.71 mg/kg และฤดูหนาวบริเวณห้องนั่งเล่น คือ บ้านหลังที่ 2 เท่ากับ 188.46 mg/kg บริเวณห้องนอน คือ บ้านหลังที่ 2 เท่ากับ 131.76 mg/kg ดังตารางที่ 4.12

ทั้งนี้ การคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดทุกฤดูกาล ผู้วิจัยไม่นำปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักหลังคาเรือนที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นครบทั้ง 3 ฤดูกาล มาคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้น

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นตะกั่ว (mg/kg)						ความเข้มข้น
	ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น			ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน			เฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{X} \pm SD$)
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	
1	577.37	119.63	165.86	595.88	103.25	395.18	326.20 $\pm$ 227.45
2	152.59	51.03	498.00	126.23	78.77	243.73	191.72 $\pm$ 164.24
3	132.18	53.06	86.03	108.31	78.11	79.54	89.54 $\pm$ 27.36
4	172.79	57.42	99.44	181.84	63.47	88.21	110.53 $\pm$ 54.07
5	177.67	27.47	129.02	102.97	66.47	94.36	99.66 $\pm$ 51.57
6	205.21	62.38	113.86	199.28	79.47	91.78	125.33 $\pm$ 61.92
7	164.94	60.28	204.14	123.38	47.06	90.58	115.06 $\pm$ 61.18
8	134.93	58.55	88.96	129.19	41.63	80.89	89.03 $\pm$ 37.31
9	198.62	101.30	178.19	461.44	56.53	194.48	198.42 $\pm$ 10.83
10	112.92	ไม่ได้เก็บ	41.54	27.10	ไม่ได้เก็บ	48.75	-
11	148.57	39.46	261.13	267.57	53.34	551.97	220.34 $\pm$ 189.54
12	113.13	53.42	173.05	166.78	53.37	140.75	116.75 $\pm$ 53.46
13	190.27	58.27	136.14	145.01	59.81	89.89	113.23 $\pm$ 52.71
14	145.45	79.94	73.86	138.14	55.42	79.99	95.47 $\pm$ 37.07
15	182.87	319.58	205.33	122.24	143.21	164.37	189.60 $\pm$ 70.02
16	176.74	ไม่ได้เก็บ	31.74	30.40	ไม่ได้เก็บ	27.12	-
17	186.13	89.50	100.49	129.72	114.96	93.24	119.01 $\pm$ 36.09
18	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	72.06	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	59.15	-
19	132.19	47.39	88.62	145.28	57.86	94.10	94.24 $\pm$ 38.97
ค่าเฉลี่ย	188.43	79.92	162.63	196.45	72.05	160.82	143.38 $\pm$ 54.11

ค่า LOD = 0.04 mg/kg

ค่า LOQ = 0.13 mg/kg (ND = ค่าที่ต่ำกว่าค่า LOQ ถือว่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ LOQ)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นแคดเมียม (mg/kg)						ความเข้มข้น
	ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น			ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน			เฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{x} \pm SD$)
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	
1	2.24	ND	1.48	2.83	ND	1.70	1.40±1.13
2	3.73	ND	0.46	1.18	ND	0.22	0.95±1.42
3	1.40	ND	0.60	0.50	ND	0.55	0.53±0.49
4	0.54	0.13	0.86	0.35	0.29	0.98	0.52±0.34
5	0.83	0.15	1.35	0.60	0.10	1.44	0.74±0.57
6	0.85	0.29	1.15	0.89	0.55	0.99	0.79±0.31
7	0.48	0.23	0.72	0.08	0.20	0.34	0.34±0.23
8	1.09	0.38	1.25	0.99	0.69	0.79	0.87±0.31
9	1.60	0.61	1.16	1.23	0.69	1.18	1.08±0.37
10	1.10	ไม่ได้เก็บ	1.52	0.30	ไม่ได้เก็บ	0.62	-
11	0.55	0.73	0.88	0.78	0.44	0.99	0.73±0.20
12	0.67	0.63	0.73	0.55	0.63	0.64	0.64±0.06
13	0.99	0.50	0.82	0.64	0.44	0.99	0.73±0.24
14	1.44	0.15	2.57	1.26	0.34	3.61	1.56±1.33
15	0.94	0.45	1.43	1.04	0.44	1.32	0.94±0.42
16	1.00	ไม่ได้เก็บ	0.59	0.44	ไม่ได้เก็บ	0.63	-
17	0.55	0.25	0.59	0.58	0.41	0.49	0.48±0.13
18	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	1.27	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	1.14	-
19	1.20	0.40	ND	0.65	0.50	ND	0.48±0.42
ค่าเฉลี่ย	1.19	0.32	1.01	0.88	0.37	1.02	0.80±0.37

ค่า LOD = 0.04 mg/kg

ค่า LOQ = 0.13 mg/kg (ND = ค่าที่ต่ำกว่าค่า LOQ ถือว่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ LOQ)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นสารหนู (mg/kg)						ความเข้มข้น
	ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น			ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน			เฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{X} \pm SD$)
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	
1	ND	1.02	ND	ND	0.77	ND	0.37±0.41
2	0.95	0.55	ND	1.23	0.50	ND	0.57±0.45
3	0.24	0.28	0.89	ND	0.39	ND	0.34±0.29
4	ND	ND	4.43	ND	ND	2.07	1.15±1.79
5	ND	ND	0.25	0.89	ND	0.99	0.41±0.42
6	ND	ND	ND	1.23	ND	3.72	0.90±1.45
7	ND	ND	1.62	ND	ND	0.25	0.38±0.61
8	ND	0.24	ND	ND	0.79	0.25	0.27±0.27
9	ND	ND	ND	ND	ND	1.18	0.29±0.44
10	ND	ไม่ได้เก็บ	0.34	ND	ไม่ได้เก็บ	0.34	-
11	1.50	1.46	1.32	ND	1.27	1.89	1.26±0.60
12	0.67	1.06	ND	0.40	0.73	ND	0.51±0.38
13	2.70	ND	2.37	0.30	0.25	ND	0.97±1.22
14	ND	ND	ND	ND	ND	0.25	0.13±0.06
15	0.40	0.99	0.95	ND	0.25	ND	0.47±0.40
16	0.80	ไม่ได้เก็บ	0.29	1.55	ไม่ได้เก็บ	1.12	-
17	0.90	ND	2.91	0.22	0.26	0.83	0.87±1.05
18	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	ND	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	ND	-
19	1.10	1.54	ND	3.74	2.14	0.33	1.49±1.33
ค่าเฉลี่ย	0.58	0.50	0.97	0.56	0.50	0.82	0.66±0.19

ค่า LOD = 0.04 mg/kg

ค่า LOQ = 0.21 mg/kg (ND = ค่าที่ต่ำกว่าค่า LOQ ถือว่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ LOQ)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้านจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นโครเมียม (mg/kg)						ความเข้มข้น
	ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น			ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน			เฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{X} \pm SD$)
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	
1	79.93	3.68	65.77	67.76	12.65	51.98	46.96±31.46
2	93.62	2.80	188.46	76.22	11.72	131.76	84.10±70.94
3	94.24	27.99	77.49	79.81	34.47	75.47	64.91±26.99
4	33.66	3.83	37.33	22.04	18.13	31.55	24.42±12.43
5	42.56	6.60	36.26	47.19	20.29	35.62	31.42±15.19
6	93.46	27.64	35.26	104.64	34.68	35.27	55.16±34.30
7	58.19	24.93	100.54	46.53	31.31	28.41	48.32±22.50
8	30.78	24.35	29.07	29.68	22.35	26.73	27.16±3.30
9	114.12	30.29	57.86	139.74	30.12	34.88	67.84±47.60
10	29.22	ไม่ได้เก็บ	18.37	24.42	ไม่ได้เก็บ	22.00	-
11	78.80	24.42	45.30	87.12	32.80	30.41	49.81±26.70
12	46.49	44.12	46.63	51.93	53.86	47.10	48.35±3.72
13	111.15	43.92	37.37	58.56	37.28	47.95	56.04±28.13
14	40.64	17.17	41.00	26.62	21.31	47.11	32.31±12.22
15	44.69	27.27	42.72	38.46	27.25	44.87	37.54±8.29
16	38.25	ไม่ได้เก็บ	22.65	21.35	ไม่ได้เก็บ	21.90	-
17	35.48	37.17	35.04	31.85	79.71	31.37	41.77±18.72
18	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	27.05	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	25.63	-
19	30.96	21.81	53.08	28.95	22.15	35.20	32.02±11.54
ค่าเฉลี่ย	64.30	23.00	58.07	58.57	30.63	45.98	46.76±16.74

ค่า LOD = 0.04 mg/kg

ค่า LOQ = 0.13 mg/kg (ND = ค่าที่ต่ำกว่าค่า LOQ ถือว่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ LOQ)

4.2.6 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในฝุ่นถนน เท่ากับ 60.86 mg/kg ส่วนค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว เท่ากับ 83.07, 47.35 และ 52.17 mg/kg ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในฝุ่นถนน เท่ากับ 0.36 mg/kg ส่วนค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว เท่ากับ 0.39, 0.21 และ 0.48 mg/kg ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในฝุ่นถนน เท่ากับ 0.36 mg/kg ส่วนค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว เท่ากับ 0.25, 0.23 และ 0.62 mg/kg ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในฝุ่นถนน เท่ากับ 24.65 mg/kg ส่วนค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว เท่ากับ 29.20, 19.64 และ 25.10 mg/kg ตามลำดับ

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุดแต่ละฤดูกาล ดังนี้ ฤดูร้อน คือบ้านหลังที่ 4 เท่ากับ 636.27 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 189.17 mg/kg ฤดูฝน คือ บ้านหลังที่ 10 เท่ากับ 347.66 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 4 เท่ากับ 54.31 mg/kg ฤดูหนาว บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 205.64 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 4 เท่ากับ 101.52 mg/kg ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงที่สุดแต่ละฤดูกาลดังนี้ ฤดูร้อน คือบ้านหลังที่ 4 เท่ากับ 1.95 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 0.80 mg/kg ฤดูฝน คือ บ้านหลังที่ 10 เท่ากับ 0.56 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 6 เท่ากับ 0.34 mg/kg ฤดูหนาว บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 2.60 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 12 เท่ากับ 0.93 mg/kg ดังตารางที่ 4.13 ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูสูงที่สุดแต่ละฤดูกาลดังนี้ ฤดูร้อน คือบ้านหลังที่ 4 เท่ากับ 1.30 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 15 เท่ากับ 0.80 mg/kg ฤดูฝน คือ บ้านหลังที่ 19 เท่ากับ 0.69 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 0.48 mg/kg ฤดูหนาว บ้านหลังที่ 2 เท่ากับ 3.60 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 15 เท่ากับ 1.66 mg/kg และปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมสูงที่สุดแต่ละฤดูกาลดังนี้ ฤดูร้อน คือบ้านหลังที่ 9 เท่ากับ 49.40 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 38.09 mg/kg ฤดูฝน คือ บ้านหลังที่ 9 เท่ากับ 42.86 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 7 เท่ากับ 32.28 mg/kg ฤดูหนาว บ้านหลังที่ 1 เท่ากับ 38.24 mg/kg รองลงมาคือ บ้านหลังที่ 11 เท่ากับ 37.38 mg/kg ดังตารางที่ 4.14

ทั้งนี้ การคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดทุกฤดูกาลผู้วิจัยไม่นำปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักหลังคาเรือนที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นครบทั้ง 3 ฤดูกาลมาคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้น

ตารางที่ 4.13 ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัว อย่าง	ค่าความเข้มข้นตะกั่ว (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{X} \pm SD$)	ค่าความเข้มข้นแคดเมียม (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{X} \pm SD$)
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	
R01	189.17	4.11	205.64	132.97±111.90	0.80	ND	2.60	1.16±1.30
R02	39.76	0.69	25.45	21.97±19.77	0.20	ND	0.39	0.22±0.16
R03	42.98	0.28	60.46	34.57±30.96	0.30	ND	0.25	0.21±0.12
R04	636.27	54.31	101.52	264.03±323.23	1.95	0.29	0.60	0.95±0.88
R05	38.20	14.59	49.36	34.05±17.75	0.15	0.20	0.33	0.23±0.09
R06	23.84	25.20	28.89	25.98±2.61	0.19	0.34	0.23	0.25±0.08
R07	16.13	21.52	23.66	20.44±3.88	0.15	0.15	0.15	0.15±0.00
R08	7.89	9.55	13.65	10.36±2.96	0.15	0.19	0.15	0.16±0.02
R09	23.58	45.03	40.54	36.38±11.31	0.30	0.24	0.29	0.28±0.03
R10	30.19	347.66	18.13	131.99±186.87	0.30	0.56	0.15	0.34±0.21
R11	77.65	38.75	74.06	63.49±21.50	0.40	0.24	0.59	0.41±0.18
R12	77.28	34.77	89.21	67.09±28.62	0.38	0.20	0.93	0.50±0.38
R13	16.11	27.80	46.16	30.02±15.15	0.15	0.15	0.17	0.16±0.01
R14	10.95	10.61	30.34	17.30±11.29	0.15	0.15	0.29	0.20±0.08
R15	70.93	82.96	41.87	65.25±21.12	0.40	0.20	0.49	0.36±0.15
R16	20.26	ไม่ได้เก็บ	21.21	-	0.19	ไม่ได้เก็บ	0.25	-
R17	24.12	48.45	34.53	35.70±12.21	0.20	0.20	0.49	0.30±0.17
R18	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	25.07	-	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	0.13	-
R19	87.12	38.62	3.42	43.05±42.03	0.39	0.25	ND	0.24±0.16
$\bar{X}$	83.07	47.35	52.17	60.86±19.38	0.39	0.21	0.48	0.36±0.14

ค่า LOD = 0.04 mg/kg

ค่า LOQ = 0.13 mg/kg (ND = ค่าที่ต่ำกว่าค่า LOQ ถือว่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ LOQ)

ตารางที่ 4.14 ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูและโครเมียมในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัว อย่าง	ค่าความเข้มข้นสารหนู (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{x} \pm SD$)	ค่าความเข้มข้นโครเมียม (mg/kg)			ค่าเฉลี่ย (mg/kg) ($\bar{x} \pm SD$)
	ฤดู ร้อน	ฤดูฝน	ฤดู หนาว		ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดู หนาว	
R01	ND	0.48	0.22	0.27±0.19	38.09	1.20	38.24	25.84±21.34
R02	0.25	0.44	3.60	1.43±1.88	28.54	ND	28.32	18.98±16.38
R03	ND	0.43	0.25	0.26±0.16	19.05	ND	19.59	12.90±11.12
R04	1.30	ND	ND	0.50±0.69	33.53	18.01	22.69	24.74±7.96
R05	ND	ND	ND	0.11±0.00	21.31	6.68	25.68	17.89±9.95
R06	ND	ND	ND	0.11±0.00	27.36	28.36	27.72	27.81±0.51
R07	ND	ND	ND	0.11±0.00	33.80	32.28	24.10	30.06±5.22
R08	ND	ND	ND	0.11±0.00	26.91	18.51	20.80	22.07±4.34
R09	ND	ND	ND	0.11±0.00	49.40	42.86	24.20	38.82±13.08
R10	ND	ND	ND	0.11±0.00	22.50	21.31	13.37	19.06±4.96
R11	ND	ND	ND	0.11±0.00	35.47	21.69	37.38	31.51±8.56
R12	ND	ND	1.42	0.54±0.76	31.12	27.49	35.92	31.51±4.23
R13	ND	ND	ND	0.11±0.00	22.28	20.23	28.47	23.66±4.29
R14	ND	ND	0.30	0.17±0.11	18.10	17.30	22.98	19.46±3.07
R15	0.80	0.39	1.66	0.72±0.83	23.93	25.00	27.22	25.38±1.68
R16	ND	ไม่ได้เก็บ	ND	-	29.86	ไม่ได้เก็บ	21.16	-
R17	0.50	0.25	1.63	0.79±0.74	35.22	29.26	29.10	31.19±3.49
R18	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	ND	-	ไม่ได้เก็บ	ไม่ได้เก็บ	24.62	-
R19	ND	0.69	0.45	0.42±0.29	29.71	23.60	0.94	18.08±15.16
$\bar{x}$	0.25	0.23	0.62	0.36±0.22	29.20	19.64	25.10	24.65±4.79

ค่า LOD ของสารหนูและโครเมียม = 0.04 mg/kg

ค่า LOQ ของสารหนู = 0.21 mg/kg (ND = ค่าที่ต่ำกว่าค่า LOQ ถือว่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ LOQ)

ค่า LOQ ของโครเมียม = 0.13 mg/kg (ND = ค่าที่ต่ำกว่าค่า LOQ ถือว่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ LOQ)

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ประกอบด้วย ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม ในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนอนและห้องนั่งเล่น) พบว่า โดยภาพรวมค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักมากที่สุดตามลำดับดังนี้ ตะกั่วมากกว่าโครเมียมมากกว่าแคดเมียมและมากกว่าสารหนู ผลการศึกษารังนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาแนวทางการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้ประกอบการค้าของเก่าและกลุ่มเสี่ยงให้ตระหนักในการดูแลสุขภาพ ซึ่งเป็นพื้นที่เดียวกับการศึกษารังนี้ พบว่า ผลการเจาะเลือดเพื่อหาระดับตะกั่วในเลือดเด็กที่อาศัยในหลังคาเรือนที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เด็กบางรายมีระดับตะกั่วในเลือด สูงกว่า 10 ไมโครมิลลิกรัม/เดซิลิตร ซึ่งเป็นค่าที่สูงเกินค่ามาตรฐานกำหนด และผลการตรวจระดับฝุ่นตะกั่วในสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน โดยวิธี Wipe-Technique ก็พบว่า ชิ้นส่วนของเก่า (สายไฟและแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์) บริเวณที่นอนแบบพับกระเปาะของเด็กเล็กและฝาท่อระบายน้ำที่บริเวณห้องน้ำ มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด รวมทั้งการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นตะกั่วจากมือและแขนผู้ปกครองและญาติ ก็พบค่าที่สูงเกินมาตรฐานด้วยเช่นกัน อีกทั้งผลการวิเคราะห์ฝุ่นตะกั่วในบริเวณห้องเรียนของศูนย์เลี้ยงเด็ก พบว่า ค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดด้วยเช่นกัน

ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาต่างๆ ดังนี้ ของ Chu, H et al. (2023) ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นภายในและภายนอกอาคาร พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในอาคาร ตะกั่ว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 123.0 ± 438.1 mg/kg โครเมียม เท่ากับ 78.3 ± 51.1 mg/kg และแคดเมียม เท่ากับ 2.3 ± 6.0 mg/kg ส่วน Somsunun et al. (2023) ตรวจวัดโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นภายในบ้านจากเขตเมืองและชนบทของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน พบว่า ความเข้มข้นของสารหนูสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่ชนบท และแคดเมียมสูงในพื้นที่เขตเมืองที่เป็นเขตอุตสาหกรรม Wang et al. (2023) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นพื้นในอาคาร ประเทศจีน ผลการศึกษพบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักเฉลี่ยลดลงตามลำดับดังนี้ $Pb > Cr > As > Cd$ แหล่งที่มาทั้งจากการจราจรและเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือวัสดุตกแต่งภายในอาคาร Shi and Wang (2021) ประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคารทั่วโลกจากบทความมากกว่า 127 บทความที่ตีพิมพ์ระหว่างปี 1985 ถึง 2019 ผลการศึกษพบว่า การสัมผัสกับตะกั่วในฝุ่นเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

Ohajinwa et al. (2018) ศึกษาผลกระทบของการเผา การแยกชิ้นส่วน และการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่น ผลการศึกษพบว่า ตัวอย่างฝุ่นพื้นพบ Cr, As และ Cd เป็นปริมาณสูงโดยพบความเข้มข้นสูงสุดในพื้นที่แยกชิ้นส่วนมากกว่าจุดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนตัวอย่างฝุ่นถนนพบความเข้มข้นสูงของ As และ Pb โดยพบความเข้มข้นสูงสุดในพื้นที่แยกชิ้นส่วนมากกว่าจุดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) Singh et al. (2018) ตรวจพบความเข้มข้นของ Pb สูงในตัวอย่างดินและฝุ่นพื้น He et al. (2017) ศึกษาโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในอาคารบริเวณพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชนบทและในเมืองภาคใต้ของ

ประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ Cd และ Pb ในฝุ่นพื้นภายในอาคาร เท่ากับ 2.46–40.4 และ 206–1380 $\mu\text{g/g}$ ระดับโลหะหนักในฝุ่นจากพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงกว่าในพื้นที่อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Cd และ Pb มีรูปแบบการปนเปื้อนที่คล้ายคลึงกัน

นอกจากการศึกษาที่สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักจากตัวอย่างฝุ่นพื้นของพื้นที่ศึกษาแล้ว ยังพบว่าการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักบริเวณพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จากตัวอย่างอื่นๆ พบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษามีปริมาณสูงเช่นเดียวกับ ดังนี้ กรมควบคุมมลพิษ (2562ค) ตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักจากการประกอบกิจการถอดแยกซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในตำบลโคกสะอาด อำเภอหนองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยเก็บตัวอย่างดิน น้ำผิวดิน ตะกอนดิน น้ำใต้ดิน และฝุ่นดิน ผลการศึกษาพบว่า ฝุ่นดินบริเวณจุดถอดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบ As และ Pb และดินปนเปื้อนกากของเสียบริเวณสถานที่กำจัดขยะพบ Pb สูงเกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม 1.8 เท่า สำหรับดินบริเวณภายนอกสถานที่กำจัดขยะในรัศมี 100 เมตร พบ As สูงเกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม 5.82 เท่า Neeratanaphan et al. (2017) ศึกษาการสะสมโลหะหนักในข้าวใกล้หลุมขยะอิเล็กทรอนิกส์ อำเภอหนองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณของ Pb และ Cr ในตัวอย่างน้ำภายในและใกล้กับพื้นที่ทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความเข้มข้นของ Pb ในตัวอย่างดินเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินสำหรับที่อยู่อาศัยและการเกษตร กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ

Zheng et al. (2016) ศึกษาความเข้มข้นของ Pb, Cd และ Cr ในตัวอย่าง $\text{PM}_{2.5}$ บริเวณพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในเมือง Guiyu ประเทศจีน พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ Pb และ Cd ของพื้นที่ศึกษาสูงกว่าในพื้นที่อ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Zhang et al. (2014) ศึกษาความเข้มข้นของ Pb, Cd, Cr และ As ในดินใกล้กับโรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกทิ้งร้างในเมืองไถโจว ประเทศจีน พบว่า ระดับของ Pb และ Cd ในดิน เท่ากับ 6082.9 และ 42.3 mg/kg โดย Cd เป็นสารปนเปื้อนที่แพร่กระจายมากที่สุด Yang et al. (2013) ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของ Cr, Cd และ Pb ในดินที่อยู่ติดกับโรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในเมืองเซียงไฮ้ ประเทศจีน พบว่า ความเข้มข้นของโลหะสูงกว่าค่ามาตรฐาน Perihan (2012) ศึกษาระดับโลหะหนักในฝุ่นภายในอาคาร ประเทศตุรกี พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ Pb, Cd และ Cr ในฝุ่นภายในบ้านและสำนักงานอยู่ในช่วง 3–200, 0.4–20 และ 2.8–460 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ และ เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง และคณะ (2552) ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ตำบลโคกสะอาด อำเภอหนองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างดินบริเวณกองเผาขยะมีการปนเปื้อน Pb เท่ากับ

79,520 mg/kg ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน 198 เท่า (ค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในสถานประกอบการ พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด มีค่าสูงกว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (Time Weighted Average: TWA) ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน เรื่อง ชีตจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2560)

ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปในพื้นที่ศึกษาริเจีย ทั้งประเด็นอาชีพของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งพบว่าร้อยละ 78.95 ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก และอีกร้อยละ 21.05 ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นอาชีพรอง โดยสถานที่ในการประกอบอาชีพการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้งที่เป็นอาชีพหลักและอาชีพรอง คือ บริเวณบ้านเรือนของตนเอง และมีระยะเวลาในการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เฉลี่ย 6.58 ชั่วโมงต่อวัน เฉลี่ย 5.21 วันต่อสัปดาห์ รวมทั้งมีพฤติกรรมป้องกันตนเองและการป้องกันการฟุ้งกระจายของโลหะหนักค่อนข้างน้อย เนื่องจาก พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการสวมรองเท้าเป็นประจำ ร้อยละ 84.21 และใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงาน เพียงร้อยละ 57.89 เมื่อศึกษาข้อมูลการจัดสภาพแวดล้อมในสถานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ก็พบว่า ลักษณะการจัดการเศษเครื่องใช้ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ตกหล่นบนพื้นภายหลังการคัดแยกแล้วส่วนใหญ่กวาดรวบรวมไว้เพื่อรอกำจัด ร้อยละ 84.21 และกวาดทั้งบริเวณหน้าบ้าน ร้อยละ 15.79 รวมทั้ง ผลการศึกษาสภาพภูมิอากาศ พบว่า ความเร็วลมฤดูร้อน ฤดูหนาว และ ฤดูฝน เท่ากับ 1.42, 0.29 และ 1.08 นอต ปริมาณฝนฤดูหนาวและฤดูหนาว เท่ากับ 0 และ 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจจะเป็นปัจจัยหนึ่งของการฟุ้งกระจายของโลหะหนักในฝุ่นจากจุดคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์บริเวณใกล้บ้านไปภายในบ้าน ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักมีค่าสูง

อีกทั้ง ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้งบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน พบว่าอายุตัวอาคาร (บ้านเรือน) ที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพื้น ส่วนใหญ่มีอายุมากกว่า 20 ปี ร้อยละ 47.37 รองลงมา อายุ 11-20 ปี ร้อยละ 31.58 ซึ่งภายในห้องมีการทาสีผนังพร้อมๆ กับอายุตัวอาคาร และมีเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิดอยู่ในบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน ซึ่งมีอายุการใช้งานเฉลี่ยมากกว่า 7 ปี รวมทั้งการระบายอากาศภายในห้องที่เก็บตัวอย่าง ส่วนใหญ่ใช้พัดลม ร้อยละ 68.42 ดังนั้นการปลดปล่อยโลหะหนักจากสีผนังอาคารและเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้องอาจเกิดขึ้นได้ และมีการฟุ้งกระจายไปทั่วบริเวณพื้นห้องจากกิจกรรมการเปิดพัดลม

4.3 ผลการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

4.3.1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล พบว่า ตะกั่วมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูร้อน เท่ากับ 192.44 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 161.73 mg/kg แคดเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูร้อน เท่ากับ 1.04 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 1.01 mg/kg สารหนูมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูหนาว เท่ากับ 0.87 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูร้อน เท่ากับ 0.57 mg/kg และโครเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูร้อน เท่ากับ 61.43 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 52.03 mg/kg ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล

ความเข้มข้น ของโลหะหนัก	ฤดูกาล					
	ฤดูร้อน (mg/kg)		ฤดูฝน (mg/kg)		ฤดูหนาว (mg/kg)	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
ตะกั่ว	192.44	116.39	75.98	45.39	161.73	103.47
แคดเมียม	1.04	0.73	0.34	0.22	1.01	0.69
สารหนู	0.57	0.82	0.49	0.54	0.87	1.15
โครเมียม	61.43	30.13	26.81	14.12	52.03	31.42

การศึกษาการผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) ด้วยค่าสถิติ One Way ANOVA พบว่า ข้อมูลแต่ละชุดมีการกระจายตัวไม่ปกติ จึงได้แปลงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ด้วย Natural Logarithm (Log N) ซึ่งจะได้ค่าความเบ้และความโด่งดี ที่สุด ส่วนโครเมียม แปลงเป็นค่าด้วย Square Root ซึ่งจะได้ค่าความเบ้และความโด่งดีที่สุด

4.3.2 การทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม แต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$) ส่วนค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูแต่ละฤดูกาลไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในผืนดินจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

ความเข้มข้นของโลหะหนัก	แหล่งของความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	ผลทดสอบ
ตะกั่ว	ระหว่างกลุ่ม	15.15	2	7.58	33.07	<0.01	แตกต่าง
	ภายในกลุ่ม	21.31	93	0.23			
	รวม	36.47	95				
แคดเมียม	ระหว่างกลุ่ม	28.28	2	14.14	22.00	<0.01	แตกต่าง
	ภายในกลุ่ม	59.79	93	0.64			
	รวม	88.07	95				
สารหนู	ระหว่างกลุ่ม	1.79	2	0.89	0.63	0.53	ไม่
	ภายในกลุ่ม	131.45	93	1.41			แตกต่าง
	รวม	133.24	95				
โครเมียม	ระหว่างกลุ่ม	55.13	2	61.60	19.32	<0.01	แตกต่าง
	ภายในกลุ่ม	296.52	93	3.12			
	รวม	419.73	95				

4.3.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม ในผืนดินจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ตามฤดูกาล ด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) ผลการศึกษา ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วแตกต่างกัน จำนวน 2 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว แคดเมียมแตกต่างกัน จำนวน 2 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว และ โครเมียมแตกต่างกัน จำนวน 2 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ทดสอบความแตกต่างค่าความเข้มข้นตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล ด้วยวิธี LSD

ฤดูกาล	ตะกั่ว			แคดเมียม			โครเมียม		
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว
ฤดูร้อน	-	0.93*	0.23	-	1.19*	0.08	-	2.65*	0.63
ฤดูฝน	-	-	-0.70*	-	-	-1.10*	-	-	-2.03*
ฤดูหนาว	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.4 ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

4.4.1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล พบว่า ตะกั่วมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูร้อน เท่ากับ 79.58 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 49.11 mg/kg แคดเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูหนาว เท่ากับ 0.45 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูร้อน เท่ากับ 0.37 mg/kg สารหนูมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูหนาว เท่ากับ 0.56 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูร้อน เท่ากับ 0.24 mg/kg และโครเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูร้อน เท่ากับ 28.90 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 24.87 mg/kg ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล

ความเข้มข้น ของโลหะหนัก	ฤดูกาล					
	ฤดูร้อน (mg/kg)		ฤดูฝน (mg/kg)		ฤดูหนาว (mg/kg)	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
ตะกั่ว	79.58	145.50	47.35	80.42	49.11	45.69
แคดเมียม	0.37	0.42	0.21	0.12	0.45	0.56
สารหนู	0.24	0.32	0.23	0.19	0.56	0.91
โครเมียม	28.90	7.86	19.64	11.90	24.87	10.05

การศึกษาการผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) ด้วยค่าสถิติ One Way ANOVA พบว่า ชุดข้อมูลของตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู มีการกระจายตัวไม่ปกติ จึงได้แปลงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ด้วย Natural Logarithm (Log N) ซึ่งจะได้ค่าความเบ้และความโด่งที่ดีที่สุด

4.4.2 การทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) ส่วนค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว แคดเมียม และสารหนูแต่ละฤดูกาลไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

ความเข้มข้นของโลหะหนัก	แหล่งของความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	ผลทดสอบ
ตะกั่ว	ระหว่างกลุ่ม	5.94	2	2.97	1.90	0.160	ไม่แตกต่าง
	ภายในกลุ่ม	79.80	51	1.56			
	รวม	85.74	53				
แคดเมียม	ระหว่างกลุ่ม	2.81	2	1.40	2.78	0.072	ไม่แตกต่าง
	ภายในกลุ่ม	25.78	51	0.50			
	รวม	28.58	53				
สารหนู	ระหว่างกลุ่ม	1.94	2	0.97	1.12	0.335	ไม่แตกต่าง
	ภายในกลุ่ม	44.33	51	0.87			
	รวม	46.27	53				
โครเมียม	ระหว่างกลุ่ม	751.90	2	375.95	4.16	0.021	แตกต่าง
	ภายในกลุ่ม	4603.14	51	90.26			
	รวม	5355.04	53				

4.4.3 ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมซึ่งผลการทดสอบพบว่าแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) รวมทั้งทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมร่วมด้วยเนื่องจากผลการทดสอบค่าทางสถิติ One Way ANOVA ได้ค่า Significant เท่ากับ 0.072 ทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) ผลการศึกษา พบว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของโครเมียมแตกต่างกัน จำนวน 1 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน รวมทั้ง ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกัน จำนวน 1 คู่ คือ ฤดูฝนกับฤดูหนาว ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างค่าความเข้มข้นของโครเมียมและแคดเมียมในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล ด้วยวิธี LSD

ฤดูกาล	โครเมียม			แคดเมียม		
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว
ฤดูร้อน	-	9.26*	4.03	-	0.44	-0.08
ฤดูฝน	-	-	-5.23	-	-	-0.53*
ฤดูหนาว	-	-	-	-	-	-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) ของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นและการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว, แคดเมียม และโครเมียม แต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างตามฤดูกาล พบว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม แตกต่างกัน จำนวน 2 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว ส่วนโลหะหนักในฝุ่นถนน พบว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของโครเมียมฤดูร้อนและฤดูฝนแตกต่างกัน และ แคดเมียมฤดูฝนแตกต่างกับฤดูหนาว ซึ่งจะพบว่า ค่าความผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนักดังกล่าว สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างแต่ละฤดูกาล ซึ่งพบว่าในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 35-38 องศาเซลเซียส และเกิดพายุฤดูร้อนมีลมกระโชกแรง ค่าเฉลี่ยในช่วงวันที่เก็บตัวอย่างมีอุณหภูมิอยู่ที่ 28.76 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 28.55 องศาเซลเซียส ความชื้น

สัมพัทธ์ เท่ากับ 78.79 % ค่าเฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 80.07 % ส่วนปริมาณฝน เท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 5.70 มิลลิเมตร และทิศทางลม/ความเร็วลม เท่ากับ 1.42 นอต เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 1.45 นอต จะเห็นได้ว่าสภาพภูมิอากาศในช่วงฤดูร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งที่เอื้อต่อการฟุ้งกระจายของโลหะหนัก ส่วนฤดูฝนจะมีฝนตก ปริมาณฝนเฉลี่ย เท่ากับ 5.73 มิลลิเมตร เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 9.59 มิลลิเมตร และความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 86.58% ค่าเฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 86.63% ถึงแม้ว่าทิศทาง/ความเร็วลม เท่ากับ 1.08 นอต เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 1.70 นอต ซึ่งความเร็วลมค่อนข้างมาก แต่มีฝนตกต่อเนื่องและมีอากาศชื้น ซึ่งมีผลต่อการฟุ้งกระจายของโลหะหนัก และช่วงฤดูหนาวยังคงมีลมพัด อากาศหนาวเย็น ซึ่งได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนำความเย็นมาจากประเทศจีน สภาพภูมิอากาศในช่วงวันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 25.19 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 25.49 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 77.84% เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 75.72% ปริมาณฝน เท่ากับ 0 มิลลิเมตร เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร และทิศทาง/ความเร็วลม เท่ากับ 0.29 นอต เฉลี่ย 7 วันก่อนวันเก็บตัวอย่างฝุ่น เท่ากับ 0.77 นอต ถึงแม้ว่าทิศทาง/ความเร็วลมไม่แรงแต่ในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่มีฝนตก ฝุ่นจึงสามารถฟุ้งกระจายเคลื่อนที่ได้ จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศดังกล่าวทั้ง 3 ฤดูกาล จึงสามารถสรุปได้ว่าสภาพภูมิอากาศแต่ละช่วงฤดูกาลมีผลต่อทิศทางลมและความแรงของลม ซึ่งสภาพภูมิอากาศดังกล่าวจะมีผลโดยตรงกับการฟุ้งกระจายของโลหะหนักในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงฤดูกาล ถึงแม้ว่ากลุ่มตัวอย่างแต่ละหลังคาเรือนจะมีการประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และมีแบบแผนการใช้ชีวิตในลักษณะเดียวกันตลอดทั้งปีทั้งปี รวมทั้งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Zheng et al. (2016) พบว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักมีความแตกต่างกัน แต่การศึกษาดังกล่าวต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ในประเด็นเกี่ยวกับปริมาณความเข้มข้นโลหะหนักในช่วงฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิสูงกว่าฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาในประเทศจีน สภาพภูมิอากาศแตกต่างกับพื้นที่ในการศึกษาครั้งนี้

4.5 ผลการประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนเนื่องจากการสัมผัสโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ซึ่งมนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน

4.5.1 ผลการประเมินปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ซึ่งมนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน แยกคำนวณระหว่างเด็ก (เด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิง) โดยการกลืนกินฝุ่นจากพฤติกรรมหยิบจับของเข้าปาก และผู้ใหญ่ โดยการกลืนกินฝุ่นจากการปนเปื้อนอาหาร เนื่องจากการคิดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์บริเวณครัวเรือน และเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นภายในบ้าน จึงเป็นการคำนวณค่าระยะเวลาการสัมผัสแบบตลอดชีวิต ดังนั้น ผลการคำนวณปริมาณที่ได้รับ (Average Daily Intake: ADI) สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง และการคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับแต่ละวัน (Chronic Daily Intake: CDI หรือ Lifetime Average Daily Doses: LADDs) สำหรับสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง จึงมีค่าเท่ากัน โดยการรายงานค่าปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนักรายงานผลเฉพาะหลังคาเรือนที่สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้นครบทั้ง 3 ฤดูกาล จำนวน 16 หลังคาเรือน ผลการศึกษาดังนี้

4.5.1.1 ปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย เข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน จำแนกระหว่าง เด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง ผลการศึกษาดังนี้

- ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.47×10^{-3} , 1.37×10^{-5} , 1.12×10^{-5} และ 8.05×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ โดยบ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่วสูงที่สุด คือ หลังที่ 1 เท่ากับ 5.61×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน บ้านที่ได้รับสัมผัสแคดเมียมสูงที่สุด คือ หลังที่ 14 เท่ากับ 2.69×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน บ้านที่ได้รับสัมผัสสารหนูสูงที่สุด คือ หลังที่ 19 เท่ากับ 2.57×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน และบ้านที่ได้รับสัมผัสโครเมียมสูงที่สุด คือ หลังที่ 2 เท่ากับ 1.45×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักจากฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	5.61×10^{-3}	2.40×10^{-5}	6.36×10^{-6}	8.08×10^{-4}
2	3.30×10^{-3}	1.64×10^{-5}	9.87×10^{-6}	1.45×10^{-3}
3	1.54×10^{-3}	9.11×10^{-6}	5.78×10^{-6}	1.12×10^{-3}
4	1.90×10^{-3}	8.93×10^{-6}	1.99×10^{-5}	4.20×10^{-4}
5	1.72×10^{-3}	1.28×10^{-5}	7.03×10^{-6}	5.41×10^{-4}
6	2.16×10^{-3}	1.35×10^{-5}	1.54×10^{-5}	9.49×10^{-4}
7	1.98×10^{-3}	5.88×10^{-6}	6.59×10^{-6}	8.32×10^{-4}
8	1.53×10^{-3}	1.49×10^{-5}	4.59×10^{-6}	4.67×10^{-4}
9	3.42×10^{-3}	1.86×10^{-5}	4.92×10^{-6}	1.17×10^{-3}
11	3.79×10^{-3}	1.25×10^{-5}	2.16×10^{-5}	8.57×10^{-4}
12	2.01×10^{-3}	1.10×10^{-5}	8.82×10^{-6}	8.32×10^{-4}
13	1.95×10^{-3}	1.26×10^{-5}	1.67×10^{-5}	9.65×10^{-4}
14	1.64×10^{-3}	2.69×10^{-5}	2.25×10^{-6}	5.56×10^{-4}
15	3.26×10^{-3}	1.61×10^{-5}	8.03×10^{-6}	6.46×10^{-4}
17	2.05×10^{-3}	8.24×10^{-6}	1.50×10^{-5}	7.19×10^{-4}
19	1.62×10^{-3}	8.25×10^{-6}	2.57×10^{-5}	5.51×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	2.47×10^{-3}	1.37×10^{-5}	1.12×10^{-5}	8.05×10^{-4}

- ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.78×10^{-3} , 1.55×10^{-5} , 1.26×10^{-5} และ 9.06×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ โดยบ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่วสูงสุด คือ หลังที่ 1 เท่ากับ 6.32×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน บ้านที่ได้รับสัมผัสแคดเมียมสูงสุด คือ หลังที่ 14 เท่ากับ 3.02×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน บ้านที่

ได้รับสัมผัสสารหนูสูงสุด คือ หลังที่ 19 เท่ากับ 2.89×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน และบ้านที่ได้รับสัมผัสโครเมียมสูงสุด คือ หลังที่ 2 เท่ากับ 1.63×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักจากฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	6.32×10^{-3}	2.71×10^{-5}	7.16×10^{-6}	9.10×10^{-4}
2	3.72×10^{-3}	1.85×10^{-5}	1.11×10^{-5}	1.63×10^{-3}
3	1.74×10^{-3}	1.03×10^{-5}	6.51×10^{-6}	1.26×10^{-3}
4	2.14×10^{-3}	1.01×10^{-5}	2.24×10^{-5}	4.73×10^{-4}
5	1.93×10^{-3}	1.44×10^{-5}	7.92×10^{-6}	6.09×10^{-4}
6	2.43×10^{-3}	1.52×10^{-5}	1.74×10^{-5}	1.07×10^{-3}
7	2.23×10^{-3}	6.62×10^{-6}	7.42×10^{-6}	9.36×10^{-4}
8	1.73×10^{-3}	1.68×10^{-5}	5.17×10^{-6}	5.26×10^{-4}
9	3.85×10^{-3}	2.09×10^{-5}	5.54×10^{-6}	1.31×10^{-3}
11	4.27×10^{-3}	1.41×10^{-5}	2.44×10^{-5}	9.65×10^{-4}
12	2.26×10^{-3}	1.24×10^{-5}	9.93×10^{-6}	9.37×10^{-4}
13	2.19×10^{-3}	1.41×10^{-5}	1.88×10^{-5}	1.09×10^{-3}
14	1.85×10^{-3}	3.02×10^{-5}	2.53×10^{-6}	6.26×10^{-4}
15	3.67×10^{-3}	1.82×10^{-5}	9.04×10^{-6}	7.28×10^{-4}
17	2.31×10^{-3}	9.28×10^{-6}	1.69×10^{-5}	8.10×10^{-4}
19	1.83×10^{-3}	9.29×10^{-6}	2.89×10^{-5}	6.21×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	2.78×10^{-3}	1.55×10^{-5}	1.26×10^{-5}	9.06×10^{-4}

- ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.08×10^{-4} , 1.16×10^{-6} , 9.42×10^{-7} และ 6.79×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ บ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม สูงที่สุด เรียงลำดับดังนี้ หลังที่ 1, 14, 19 และ 2 เท่ากับ 4.74×10^{-4} , 2.27×10^{-6} , 2.17×10^{-6} และ 1.22×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักจากฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน)พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	4.74×10^{-4}	2.03×10^{-6}	5.37×10^{-7}	6.82×10^{-5}
2	2.79×10^{-4}	1.39×10^{-6}	8.33×10^{-7}	1.22×10^{-4}
3	1.30×10^{-4}	7.69×10^{-7}	4.88×10^{-7}	9.43×10^{-5}
4	1.61×10^{-4}	7.54×10^{-7}	1.68×10^{-6}	3.55×10^{-5}
5	1.45×10^{-4}	1.08×10^{-6}	5.93×10^{-7}	4.56×10^{-5}
6	1.82×10^{-4}	1.14×10^{-6}	1.30×10^{-6}	8.01×10^{-5}
7	1.67×10^{-4}	4.96×10^{-7}	5.56×10^{-7}	7.02×10^{-5}
8	1.29×10^{-4}	1.26×10^{-6}	3.88×10^{-7}	3.95×10^{-5}
9	2.88×10^{-4}	1.57×10^{-6}	4.15×10^{-7}	9.86×10^{-5}
11	3.20×10^{-4}	1.06×10^{-6}	1.83×10^{-6}	7.24×10^{-5}
12	1.70×10^{-4}	9.32×10^{-7}	7.44×10^{-7}	7.03×10^{-5}
13	1.65×10^{-4}	1.06×10^{-6}	1.41×10^{-6}	8.14×10^{-5}
14	1.39×10^{-4}	2.27×10^{-6}	1.90×10^{-7}	4.69×10^{-5}
15	2.75×10^{-4}	1.36×10^{-6}	6.78×10^{-7}	5.45×10^{-5}
17	1.73×10^{-4}	6.95×10^{-7}	1.27×10^{-6}	6.07×10^{-5}
19	1.37×10^{-4}	6.97×10^{-7}	2.17×10^{-6}	4.65×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	2.08×10^{-4}	1.16×10^{-6}	9.42×10^{-7}	6.79×10^{-5}

- ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.50×10^{-4} , 1.39×10^{-6} , 1.13×10^{-6} และ 8.15×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ บ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม สูงที่สุด เรียงลำดับดังนี้ หลังที่ 1, 14, 19 และ 2 เท่ากับ 5.68×10^{-4} , 2.72×10^{-6} , 2.60×10^{-6} และ 1.47×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักจากฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	5.68×10^{-4}	2.43×10^{-6}	6.44×10^{-7}	8.18×10^{-5}
2	3.34×10^{-4}	1.66×10^{-6}	9.99×10^{-7}	1.47×10^{-4}
3	1.56×10^{-4}	9.22×10^{-7}	5.85×10^{-7}	1.13×10^{-4}
4	1.93×10^{-4}	9.04×10^{-7}	2.01×10^{-6}	4.25×10^{-5}
5	1.74×10^{-4}	1.30×10^{-6}	7.11×10^{-7}	5.47×10^{-5}
6	2.18×10^{-4}	1.37×10^{-6}	1.56×10^{-6}	9.61×10^{-5}
7	2.00×10^{-4}	5.95×10^{-7}	6.67×10^{-7}	8.42×10^{-5}
8	1.55×10^{-4}	1.51×10^{-6}	4.65×10^{-7}	4.73×10^{-5}
9	3.46×10^{-4}	1.88×10^{-6}	4.98×10^{-7}	1.18×10^{-4}
11	3.84×10^{-4}	1.27×10^{-6}	2.19×10^{-6}	8.68×10^{-5}
12	2.03×10^{-4}	1.12×10^{-6}	8.92×10^{-7}	8.42×10^{-5}
13	1.97×10^{-4}	1.27×10^{-6}	1.69×10^{-6}	9.76×10^{-5}
14	1.66×10^{-4}	2.72×10^{-6}	2.28×10^{-7}	5.63×10^{-5}
15	3.30×10^{-4}	1.63×10^{-6}	8.13×10^{-7}	6.54×10^{-5}
17	2.07×10^{-4}	8.34×10^{-7}	1.52×10^{-6}	7.28×10^{-5}
19	1.64×10^{-4}	8.35×10^{-7}	2.60×10^{-6}	5.58×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	2.50×10^{-4}	1.39×10^{-6}	1.13×10^{-6}	8.15×10^{-5}

4.5.1.2 ปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย เข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน จำแนกระหว่าง เด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง และจำแนกตามพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างระหว่างฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น และบริเวณห้องนอนของบ้านแต่ละหลัง ผลการศึกษาพบว่า

- ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.47×10^{-3} , 1.44×10^{-5} , 1.18×10^{-5} และ 8.34×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ บ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่วสูงที่สุดคือ หลังที่ 1 บ้านที่ได้รับสัมผัสแคดเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 บ้านหลังที่ได้รับสัมผัสสารหนูสูงที่สุดคือหลังที่ 13 และบ้านที่ได้รับสัมผัสโครเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 ปริมาณที่ได้รับ เท่ากับ 4.95×10^{-3} , 2.44×10^{-5} , 2.97×10^{-5} และ 1.63×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.25

- ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.78×10^{-3} , 1.63×10^{-5} , 1.33×10^{-5} และ 9.39×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ บ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่วสูงที่สุดคือ หลังที่ 1 บ้านที่ได้รับสัมผัสแคดเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 บ้านหลังที่ได้รับสัมผัสสารหนูสูงที่สุดคือหลังที่ 13 และบ้านที่ได้รับสัมผัสโครเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 ปริมาณที่ได้รับ เท่ากับ 5.57×10^{-3} , 2.75×10^{-5} , 3.34×10^{-5} และ 1.84×10^{-3} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.26

- ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.09×10^{-4} , 1.22×10^{-6} , 9.96×10^{-7} และ 7.04×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ บ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่วสูงที่สุดคือ หลังที่ 1 บ้านที่ได้รับสัมผัสแคดเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 บ้านหลังที่ได้รับสัมผัสสารหนูสูงที่สุดคือหลังที่ 13 และบ้านที่ได้รับสัมผัสโครเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 ปริมาณที่ได้รับ เท่ากับ 4.18×10^{-4} , 2.06×10^{-6} , 2.51×10^{-6} และ 1.34×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.27

- ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.50×10^{-4} , 1.46×10^{-6} , 1.19×10^{-6} และ 8.44×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ บ้านที่ได้รับสัมผัสตะกั่วสูงที่สุดคือ หลังที่ 1 บ้านที่ได้รับสัมผัสแคดเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 บ้านหลังที่ได้รับสัมผัสสารหนูสูงที่สุดคือหลังที่ 13 และบ้านที่

ได้รับสัมผัสโครเมียมสูงที่สุดคือหลังที่ 2 ปริมาณที่ได้รับ เท่ากับ 5.01×10^{-4} , 2.47×10^{-6} , 3.01×10^{-6} และ 1.65×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.25 ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนั่งเล่น (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
L01	4.95×10^{-3}	2.17×10^{-5}	7.08×10^{-6}	8.57×10^{-4}
L02	4.03×10^{-3}	2.44×10^{-5}	9.20×10^{-6}	1.63×10^{-3}
L03	1.56×10^{-3}	1.18×10^{-5}	8.10×10^{-6}	1.15×10^{-3}
L04	1.89×10^{-3}	8.56×10^{-6}	2.66×10^{-5}	4.29×10^{-4}
L05	1.92×10^{-3}	1.33×10^{-5}	2.66×10^{-6}	4.90×10^{-4}
L06	2.19×10^{-3}	1.31×10^{-5}	1.84×10^{-6}	8.97×10^{-4}
L07	2.46×10^{-3}	8.20×10^{-6}	1.05×10^{-5}	1.05×10^{-3}
L08	1.62×10^{-3}	1.56×10^{-5}	2.60×10^{-6}	4.83×10^{-4}
L09	2.74×10^{-3}	1.93×10^{-5}	1.84×10^{-6}	1.16×10^{-3}
L11	2.58×10^{-3}	1.24×10^{-5}	2.45×10^{-5}	8.52×10^{-4}
L12	1.95×10^{-3}	1.16×10^{-5}	1.05×10^{-5}	7.87×10^{-4}
L13	2.21×10^{-3}	1.33×10^{-5}	2.97×10^{-5}	1.10×10^{-3}
L14	1.72×10^{-3}	2.38×10^{-5}	1.84×10^{-6}	5.67×10^{-4}
L15	4.06×10^{-3}	1.62×10^{-5}	1.34×10^{-5}	6.58×10^{-4}
L17	2.16×10^{-3}	7.99×10^{-6}	2.25×10^{-5}	6.18×10^{-4}
L19	1.54×10^{-3}	9.54×10^{-6}	1.58×10^{-5}	6.07×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	2.47×10^{-3}	1.44×10^{-5}	1.18×10^{-5}	8.34×10^{-4}

ตารางที่ 4.26 ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนั่งเล่น (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
L01	5.57×10^{-3}	2.44×10^{-5}	7.97×10^{-6}	9.65×10^{-4}
L02	4.53×10^{-3}	2.75×10^{-5}	1.04×10^{-5}	1.84×10^{-3}
L03	1.75×10^{-3}	1.33×10^{-5}	9.12×10^{-6}	1.29×10^{-3}
L04	2.13×10^{-3}	9.64×10^{-6}	3.00×10^{-5}	4.83×10^{-4}
L05	2.16×10^{-3}	1.50×10^{-5}	3.00×10^{-6}	5.52×10^{-4}
L06	2.46×10^{-3}	1.48×10^{-5}	2.07×10^{-6}	1.01×10^{-3}
L07	2.77×10^{-3}	9.23×10^{-6}	1.18×10^{-5}	1.19×10^{-3}
L08	1.82×10^{-3}	1.76×10^{-5}	2.93×10^{-6}	5.44×10^{-4}
L09	3.09×10^{-3}	2.18×10^{-5}	2.07×10^{-6}	1.31×10^{-3}
L11	2.90×10^{-3}	1.40×10^{-5}	2.76×10^{-5}	9.59×10^{-4}
L12	2.19×10^{-3}	1.31×10^{-5}	1.19×10^{-5}	8.87×10^{-4}
L13	2.49×10^{-3}	1.49×10^{-5}	3.34×10^{-5}	1.24×10^{-3}
L14	1.93×10^{-3}	2.68×10^{-5}	2.07×10^{-6}	6.38×10^{-4}
L15	4.57×10^{-3}	1.82×10^{-5}	1.51×10^{-5}	7.41×10^{-4}
L17	2.43×10^{-3}	8.99×10^{-6}	2.53×10^{-5}	6.96×10^{-4}
L19	1.73×10^{-3}	1.07×10^{-5}	1.77×10^{-5}	6.84×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	2.78×10^{-3}	1.63×10^{-5}	1.33×10^{-5}	9.39×10^{-4}

ตารางที่ 4.27 ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนั่งเล่น (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
L01	4.18×10^{-4}	1.83×10^{-6}	5.97×10^{-7}	7.23×10^{-5}
L02	3.40×10^{-4}	2.06×10^{-6}	7.76×10^{-7}	1.38×10^{-4}
L03	1.31×10^{-4}	9.99×10^{-7}	6.84×10^{-7}	9.67×10^{-5}
L04	1.60×10^{-4}	7.23×10^{-7}	2.25×10^{-6}	3.62×10^{-5}
L05	1.62×10^{-4}	1.13×10^{-6}	2.25×10^{-7}	4.14×10^{-5}
L06	1.85×10^{-4}	1.11×10^{-6}	1.55×10^{-7}	7.57×10^{-5}
L07	2.08×10^{-4}	6.92×10^{-7}	8.88×10^{-7}	8.89×10^{-5}
L08	1.37×10^{-4}	1.32×10^{-6}	2.20×10^{-7}	4.08×10^{-5}
L09	2.32×10^{-4}	1.63×10^{-6}	1.55×10^{-7}	9.80×10^{-5}
L11	2.18×10^{-4}	1.05×10^{-6}	2.07×10^{-6}	7.19×10^{-5}
L12	1.64×10^{-4}	9.83×10^{-7}	8.90×10^{-7}	6.65×10^{-5}
L13	1.86×10^{-4}	1.12×10^{-6}	2.51×10^{-6}	9.32×10^{-5}
L14	1.45×10^{-4}	2.01×10^{-6}	1.55×10^{-7}	4.79×10^{-5}
L15	3.43×10^{-4}	1.37×10^{-6}	1.13×10^{-6}	5.55×10^{-5}
L17	1.82×10^{-4}	6.74×10^{-7}	1.90×10^{-6}	5.22×10^{-5}
L19	1.30×10^{-4}	8.05×10^{-7}	1.33×10^{-6}	5.13×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	2.09×10^{-4}	1.22×10^{-6}	9.96×10^{-7}	7.04×10^{-5}

ตารางที่ 4.28 ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนั่งเล่น (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
L01	5.01×10^{-4}	2.20×10^{-6}	7.16×10^{-7}	8.68×10^{-5}
L02	4.07×10^{-4}	2.47×10^{-6}	9.31×10^{-7}	1.65×10^{-4}
L03	1.58×10^{-4}	1.20×10^{-6}	8.20×10^{-7}	1.16×10^{-4}
L04	1.91×10^{-4}	8.66×10^{-7}	2.70×10^{-6}	4.34×10^{-5}
L05	1.94×10^{-4}	1.35×10^{-6}	2.69×10^{-7}	4.96×10^{-5}
L06	2.22×10^{-4}	1.33×10^{-6}	1.86×10^{-7}	9.08×10^{-5}
L07	2.49×10^{-4}	8.30×10^{-7}	1.07×10^{-6}	1.07×10^{-4}
L08	1.64×10^{-4}	1.58×10^{-6}	2.63×10^{-7}	4.89×10^{-5}
L09	2.78×10^{-4}	1.96×10^{-6}	1.86×10^{-7}	1.17×10^{-4}
L11	2.61×10^{-4}	1.25×10^{-6}	2.48×10^{-6}	8.62×10^{-5}
L12	1.97×10^{-4}	1.18×10^{-6}	1.07×10^{-6}	7.97×10^{-5}
L13	2.23×10^{-4}	1.34×10^{-6}	3.01×10^{-6}	1.12×10^{-4}
L14	1.74×10^{-4}	2.41×10^{-6}	1.86×10^{-7}	5.74×10^{-5}
L15	4.11×10^{-4}	1.64×10^{-6}	1.36×10^{-6}	6.66×10^{-5}
L17	2.18×10^{-4}	8.08×10^{-7}	2.27×10^{-6}	6.25×10^{-5}
L19	1.56×10^{-4}	9.66×10^{-7}	1.60×10^{-6}	6.15×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	2.50×10^{-4}	1.46×10^{-6}	1.19×10^{-6}	8.44×10^{-5}

ตารางที่ 4.29 ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนอน (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
B01	6.28×10^{-3}	2.64×10^{-5}	5.64×10^{-6}	7.60×10^{-4}
B02	2.57×10^{-3}	8.40×10^{-6}	1.05×10^{-5}	1.26×10^{-3}
B03	1.53×10^{-3}	6.39×10^{-6}	3.46×10^{-6}	1.09×10^{-3}
B04	1.91×10^{-3}	9.29×10^{-6}	1.31×10^{-5}	4.11×10^{-4}
B05	1.51×10^{-3}	1.23×10^{-5}	1.14×10^{-5}	5.92×10^{-4}
B06	2.13×10^{-3}	1.39×10^{-5}	2.90×10^{-5}	1.00×10^{-3}
B07	1.50×10^{-3}	3.56×10^{-6}	2.66×10^{-6}	6.10×10^{-4}
B08	1.44×10^{-3}	1.42×10^{-5}	6.58×10^{-6}	4.52×10^{-4}
B09	4.09×10^{-3}	1.78×10^{-5}	8.00×10^{-6}	1.17×10^{-3}
B11	5.01×10^{-3}	1.27×10^{-5}	1.87×10^{-5}	8.62×10^{-4}
B12	2.07×10^{-3}	1.04×10^{-5}	7.10×10^{-6}	8.77×10^{-4}
B13	1.69×10^{-3}	1.19×10^{-5}	3.77×10^{-6}	8.25×10^{-4}
B14	1.57×10^{-3}	2.99×10^{-5}	2.66×10^{-6}	5.45×10^{-4}
B15	2.47×10^{-3}	1.61×10^{-5}	2.66×10^{-6}	6.34×10^{-4}
B17	1.94×10^{-3}	8.49×10^{-6}	7.52×10^{-6}	8.20×10^{-4}
B19	1.71×10^{-3}	6.97×10^{-6}	3.56×10^{-5}	4.95×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	2.46×10^{-3}	1.30×10^{-5}	1.05×10^{-5}	7.76×10^{-4}

ตารางที่ 4.30 ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนอน (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
B01	7.07×10^{-3}	2.97×10^{-5}	6.35×10^{-6}	8.55×10^{-4}
B02	2.90×10^{-3}	9.46×10^{-6}	1.19×10^{-5}	1.42×10^{-3}
B03	1.72×10^{-3}	7.20×10^{-6}	3.90×10^{-6}	1.23×10^{-3}
B04	2.15×10^{-3}	1.05×10^{-5}	1.48×10^{-5}	4.63×10^{-4}
B05	1.70×10^{-3}	1.38×10^{-5}	1.28×10^{-5}	6.66×10^{-4}
B06	2.39×10^{-3}	1.57×10^{-5}	3.27×10^{-5}	1.13×10^{-3}
B07	1.69×10^{-3}	4.01×10^{-6}	3.00×10^{-6}	6.86×10^{-4}
B08	1.63×10^{-3}	1.60×10^{-5}	7.41×10^{-6}	5.09×10^{-4}
B09	4.60×10^{-3}	2.00×10^{-5}	9.00×10^{-6}	1.32×10^{-3}
B11	5.64×10^{-3}	1.43×10^{-5}	2.11×10^{-5}	9.71×10^{-4}
B12	2.33×10^{-3}	1.18×10^{-5}	7.99×10^{-6}	9.88×10^{-4}
B13	1.90×10^{-3}	1.34×10^{-5}	4.24×10^{-6}	9.29×10^{-4}
B14	1.77×10^{-3}	3.37×10^{-5}	3.00×10^{-6}	6.14×10^{-4}
B15	2.78×10^{-3}	1.81×10^{-5}	3.00×10^{-6}	7.14×10^{-4}
B17	2.18×10^{-3}	9.56×10^{-6}	8.46×10^{-6}	9.23×10^{-4}
B19	1.92×10^{-3}	7.84×10^{-6}	4.01×10^{-5}	5.57×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	2.77×10^{-3}	1.47×10^{-5}	1.19×10^{-5}	8.73×10^{-4}

ตารางที่ 4.31 ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนอน (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
B01	5.30×10^{-4}	2.23×10^{-6}	4.76×10^{-7}	6.41×10^{-5}
B02	2.17×10^{-4}	7.09×10^{-7}	8.90×10^{-7}	1.06×10^{-4}
B03	1.29×10^{-4}	5.40×10^{-7}	2.92×10^{-7}	9.19×10^{-5}
B04	1.62×10^{-4}	7.85×10^{-7}	1.11×10^{-6}	3.47×10^{-5}
B05	1.28×10^{-4}	1.04×10^{-6}	9.62×10^{-7}	4.99×10^{-5}
B06	1.79×10^{-4}	1.18×10^{-6}	2.45×10^{-6}	8.46×10^{-5}
B07	1.26×10^{-4}	3.00×10^{-7}	2.25×10^{-7}	5.15×10^{-5}
B08	1.22×10^{-4}	1.20×10^{-6}	5.55×10^{-7}	3.81×10^{-5}
B09	3.45×10^{-4}	1.50×10^{-6}	6.75×10^{-7}	9.92×10^{-5}
B11	4.23×10^{-4}	1.07×10^{-6}	1.58×10^{-6}	7.28×10^{-5}
B12	1.75×10^{-4}	8.81×10^{-7}	5.99×10^{-7}	7.40×10^{-5}
B13	1.43×10^{-4}	1.00×10^{-6}	3.18×10^{-7}	6.96×10^{-5}
B14	1.32×10^{-4}	2.52×10^{-6}	2.25×10^{-7}	4.60×10^{-5}
B15	2.08×10^{-4}	1.36×10^{-6}	2.25×10^{-7}	5.36×10^{-5}
B17	1.64×10^{-4}	7.17×10^{-7}	6.34×10^{-7}	6.92×10^{-5}
B19	1.44×10^{-4}	5.88×10^{-7}	3.01×10^{-6}	4.18×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	2.08×10^{-4}	1.10×10^{-6}	8.89×10^{-7}	6.55×10^{-5}

ตารางที่ 4.32 ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับ (ADI, LADDs) สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนอน (มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน)			
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม
B01	6.35×10^{-4}	2.67×10^{-6}	5.71×10^{-7}	7.69×10^{-5}
B02	2.61×10^{-4}	8.50×10^{-7}	1.07×10^{-6}	1.28×10^{-4}
B03	1.54×10^{-4}	6.47×10^{-7}	3.51×10^{-7}	1.10×10^{-4}
B04	1.94×10^{-4}	9.41×10^{-7}	1.33×10^{-6}	4.16×10^{-5}
B05	1.53×10^{-4}	1.24×10^{-6}	1.15×10^{-6}	5.99×10^{-5}
B06	2.15×10^{-4}	1.41×10^{-6}	2.94×10^{-6}	1.01×10^{-4}
B07	1.52×10^{-4}	3.60×10^{-7}	2.69×10^{-7}	6.17×10^{-5}
B08	1.46×10^{-4}	1.43×10^{-6}	6.66×10^{-7}	4.57×10^{-5}
B09	4.14×10^{-4}	1.80×10^{-6}	8.09×10^{-7}	1.19×10^{-4}
B11	5.07×10^{-4}	1.28×10^{-6}	1.90×10^{-6}	8.73×10^{-5}
B12	2.10×10^{-4}	1.06×10^{-6}	7.18×10^{-7}	8.88×10^{-5}
B13	1.71×10^{-4}	1.20×10^{-6}	3.81×10^{-7}	8.35×10^{-5}
B14	1.59×10^{-4}	3.03×10^{-6}	2.69×10^{-7}	5.52×10^{-5}
B15	2.50×10^{-4}	1.63×10^{-6}	2.69×10^{-7}	6.42×10^{-5}
B17	1.96×10^{-4}	8.59×10^{-7}	7.61×10^{-7}	8.30×10^{-5}
B19	1.73×10^{-4}	7.05×10^{-7}	3.61×10^{-6}	5.01×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	2.49×10^{-4}	1.32×10^{-6}	1.07×10^{-6}	7.85×10^{-5}

ผลการคำนวณค่าปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากการศึกษารังนี้พบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของตะกั่วในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนอนและห้องนั่งเล่น) ของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 2.47×10^{-3} , 2.78×10^{-3} , 2.08×10^{-4} และ 2.50×10^{-4} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง พบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของตะกั่วในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 2.47×10^{-3} , 2.78×10^{-3} , 2.09×10^{-4} และ 2.50×10^{-4} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน ส่วนปริมาณที่ได้รับ

เฉลี่ยของตะกั่วในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 2.46×10^{-3} , 2.77×10^{-3} , 2.08×10^{-4} และ 2.49×10^{-4} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน เมื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Leung et al. (2008) และ Song et al. (2015) ซึ่งศึกษาปริมาณที่ได้รับตะกั่วโดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (RfD) มีค่าเท่ากับ 3.5×10^{-3} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน ส่วนองค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำปริมาณตะกั่วที่ร่างกายรับได้ต่อสัปดาห์ (Provisional Tolerable Weeks Intake: PTWI) เท่ากับ 0.025 มก./กก.-นน.ร่างกาย/สัปดาห์ (WHO, 1999) พบว่า ปริมาณเฉลี่ยที่ได้รับทั้งในเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิงไม่เกินค่าที่อ้างอิง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับรายหลังคาเรือนและบริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่น พบว่า ปริมาณที่ได้รับของเด็กผู้ชาย จำนวน 3 หลังคาเรือน และเด็กผู้หญิง จำนวน 5 หลังคาเรือน เกินค่าอ้างอิงทั้งจากการศึกษาของ Leung et al. (2008), Song et al. (2015) และองค์การอนามัยโลก ในปี 1999 ซึ่งหมายถึงปริมาณที่ได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายในเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิงหลังคาเรือดังกล่าวอาจก่อให้เกิดอันตรายได้

ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของแคดเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนอนและห้องนั่งเล่น) ของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 1.37×10^{-5} , 1.55×10^{-5} , 1.16×10^{-6} และ 1.39×10^{-6} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง พบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของแคดเมียมในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 1.44×10^{-5} , 1.63×10^{-5} , 1.22×10^{-6} และ 1.46×10^{-6} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน ส่วนปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของแคดเมียมในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 1.30×10^{-5} , 1.47×10^{-5} , 1.10×10^{-6} และ 1.32×10^{-6} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ US EPA กำหนดค่า RfD สำหรับการรับประทานแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำดื่มเท่ากับ 5×10^{-4} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน และการปนเปื้อนกับอาหาร 1×10^{-3} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน (US EPA, 2020) รวมทั้งองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) แนะนำขีดจำกัดสูงสุดของแคดเมียมในน้ำขวดเท่ากับ 0.005 mg/L ส่วนองค์การอนามัยโลก แนะนำปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายสามารถรับได้ต่อเดือน (Provisional Tolerable Month Intake: PTMI) เท่ากับ 25 $\mu\text{g/kg bw/month}$ (WHO, 2013) จะพบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยทั้งในเด็กชาย เด็กหญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง และจำแนกปริมาณที่ได้รับรายหลังคาเรือน รวมทั้งจำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่น ทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐานตามที่หน่วยงานต่างๆ ชำต้นกำหนดไว้

ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของสารหนูในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนอนและห้องนั่งเล่น) ของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 1.11×10^{-5} , 1.26×10^{-5} , 9.42×10^{-7} และ 1.13×10^{-6} มก./กก.-นน.ร่างกาย/วัน ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง พบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของสารหนูในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่

ผู้หญิง เท่ากับ 1.18×10^{-5} , 1.13×10^{-5} , 9.96×10^{-7} และ 1.19×10^{-6} มก./กก.-น.น.ร่างกาย/วัน ส่วนปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของสารหนูในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 1.05×10^{-5} , 1.19×10^{-5} , 8.89×10^{-7} และ 1.07×10^{-6} มก./กก.-น.น.ร่างกาย/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ US EPA ได้กำหนดค่า RfD ของสารหนู เท่ากับ 3×10^{-4} มก./กก.-น.น.ร่างกาย/วัน (US EPA, 2020) ส่วนองค์การอนามัยโลกถือว่าไม่มีค่าที่ยอมรับได้ (WHO, 2011) ดังนั้นพบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยทั้งในเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ US EPA กำหนด จะไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับองค์การอนามัยโลกซึ่งไม่มีค่าที่ยอมรับได้ให้สารหนูเข้าสู่ร่างกายปริมาณที่กลุ่มตัวอย่างได้รับทั้งหมดถือว่าเกินค่ามาตรฐานตามที่องค์การอนามัยโลกกำหนด ซึ่งหมายถึงปริมาณที่ได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายทั้งในเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง อาจก่อให้เกิดอันตรายได้

ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของโครเมียมในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนอนและห้องนั่งเล่น) ของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 8.05×10^{-4} , 9.06×10^{-4} , 6.79×10^{-5} และ 8.15×10^{-5} มก./กก.-น.น.ร่างกาย/วัน ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง พบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของโครเมียมในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 8.34×10^{-4} , 9.39×10^{-4} , 7.04×10^{-5} และ 8.44×10^{-5} มก./กก.-น.น.ร่างกาย/วัน ส่วนปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยของโครเมียมในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนของเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 7.76×10^{-4} , 8.73×10^{-4} , 6.55×10^{-5} และ 7.85×10^{-5} มก./กก.-น.น.ร่างกาย/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ US EPA ได้กำหนดค่า RfD ของระดับการได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียม เท่ากับ 3×10^{-3} mg/kg bw/day (US EPA, 2020) จะพบว่า ปริมาณที่ได้รับเฉลี่ยทั้งในผู้เด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง ไม่เกินค่ามาตรฐานตามที่ US EPA กำหนดไว้

ปริมาณที่ได้รับโลหะหนักจากผลการศึกษารั้วนี้สอดคล้องกับการศึกษาของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านโนนสูง (2558) ซึ่งเป็นพื้นที่การศึกษาเดียวกับการศึกษารั้วนี้พบว่า ผลการตรวจเลือดและตรวจตัวอย่างอื่นๆ ในสิ่งแวดล้อม พบปริมาณโลหะหนักโดยเฉพาะตะกั่ว มีปริมาณสูงกว่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งเป็นผลเกี่ยวข้องโดยตรงจากกิจกรรมการประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งเมื่อศึกษาผลการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและการสังเกตพฤติกรรมจากการศึกษารั้วนี้ก็พบว่า ปัจจัยส่งเสริมให้ปริมาณที่ได้รับโลหะหนักที่สำคัญบางชนิดเกินค่ามาตรฐานเชื่อมโยงกับลักษณะพฤติกรรมในการป้องกันตนเองและการจัดการสภาพแวดล้อมในสถานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และภายในบ้าน อาทิเช่น พฤติกรรมการสวมรองเท้า สวมใส่อุปกรณ์ป้องกัน และการทำความสะอาดร่างกายก่อนเข้าบ้าน เพื่อลดการเหยียบย่ำหรือสัมผัสโลหะหนักในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และนำมาฟุ้งกระจายภายในบ้าน หรือพฤติกรรมจัดการเศษวัสดุหรือเศษผงบริเวณจุดคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยการกวาดมากองรวมรอกำจัดหรือกวาด

ทั้งหน้าบ้าน หรือแม้แต่พฤติกรรมทำความสะอาดพื้นบ้าน ผลการศึกษาพบว่าร้อยละ 73.68 มีการทำความสะอาดพื้นบ้านโดยการกวาดขยะด้วยไม้กวาดแค่สัปดาห์ละ 1-3 ครั้ง ซึ่งปัจจัยต่างๆ มีผลโดยตรงที่จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่อยู่ในสถานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เกิดการฟุ้งกระจายหรือเคลื่อนย้ายเข้ามาอยู่ในพื้นที่ต่างๆ ภายในบ้านและปนเปื้อนในอาหารหรือสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ได้

4.5.2 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน เพื่อการอธิบายลักษณะของความเสี่ยงสำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ประเมินความเสี่ยงแบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทาง การสัมผัส (เส้นทาง การกลืนกิน) ผ่านการคำนวณค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) และการประเมินความเสี่ยงแบบหลายสารต่อหนึ่งเส้นทาง การสัมผัส (เส้นทาง การกลืนกิน) ของโลหะหนักที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน เป็นการคำนวณสัดส่วนแบบผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิด (Hazard Index: HI) โดยนำค่า HQ ที่คำนวณได้ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกันมารวมกัน ผลการศึกษาพบว่า

4.5.2.1 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนอนและห้องนั่งเล่น) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ความเสี่ยงแบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทาง การสัมผัส (เส้นทาง การกลืนกิน) โลหะหนักทุกชนิดของทุกกลุ่มเป้าหมายมีค่าความเสี่ยง ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับ แต่ค่าความเสี่ยงแบบหลายสารต่อหนึ่งเส้นทาง การสัมผัส (เส้นทาง การกลืนกิน) ของโลหะหนักที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน ในกลุ่มเด็กผู้ชาย และเด็กผู้หญิง พบผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิด เท่ากับ 1.024 และ 1.153 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเสี่ยง > 1 แสดงให้เห็นว่ามีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักแต่ละชนิด แต่ในกลุ่มผู้ใหญ่ทั้งผู้ชายและผู้หญิง ไม่พบค่าความเสี่ยง ดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

กลุ่มเป้าหมาย	ค่า Hazard Quotient: HQ				ค่า Hazard Index: HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
เด็กผู้ชาย	0.705	0.014	0.037	0.268	1.024
เด็กผู้หญิง	0.794	0.015	0.042	0.302	1.153
ผู้ใหญ่ผู้ชาย	0.059	0.001	0.003	0.023	0.086
ผู้ใหญ่ผู้หญิง	0.074	0.001	0.004	0.027	0.106

4.5.2.2 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิด ≤ 1 เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่เมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า ค่าตะกั่ว บ้านหลังที่ 1 และ 11 มีค่าความเสี่ยงเท่ากับ 1.604 และ 1.084 ตามลำดับ ซึ่งเกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสตะกั่ว แต่โลหะหนักชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยง ≤ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ เมื่อคำนวณค่า HI เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่า ผลรวมค่าความเสี่ยงของการสัมผัสโลหะหนักทุกชนิด เท่ากับ 1.024 รวมทั้งเมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า บ้านหลังที่ 1, 2, 9, 11 และ 15 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.918, 1.474, 1.400, 1.455 และ 1.190 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงเกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าว ดังตารางที่ 4.34

4.5.2.3 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) พบว่า ค่า HQ เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิด ≤ 1 เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่เมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า ค่าตะกั่ว บ้านหลังที่ 1, 2, 9, 11 และ 15 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.806, 1.062, 1.099, 1.220 และ 1.050 ตามลำดับ ซึ่งเกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสตะกั่ว แต่โลหะหนักชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยง ≤ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ เมื่อคำนวณค่า HI พบว่า ผลรวมค่าความเสี่ยงของการสัมผัสโลหะหนักทุกชนิด เท่ากับ 1.153 จำแนกรายบ้าน พบว่า บ้านหลังที่ 1, 2, 6, 9, 11, 12, 13 และ 15 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 2.160, 1.660, 1.123, 1.576, 1.637, 1.003, 1.066 และ 1.341 ตามลำดับ ซึ่งเกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าว ดังตารางที่ 4.35

4.5.2.4 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ และ ค่า HI เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิดมีค่า ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.36

4.5.2.4 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ และ ค่า HI เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิดมีค่า ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.34 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
1	1.604	0.024	0.021	0.269	1.918
2	0.943	0.016	0.033	0.482	1.474
3	0.44	0.009	0.019	0.372	0.84
4	0.544	0.009	0.066	0.14	0.759
5	0.49	0.013	0.023	0.18	0.706
6	0.616	0.014	0.051	0.316	0.997
7	0.566	0.006	0.022	0.277	0.871
8	0.438	0.015	0.015	0.156	0.624
9	0.976	0.019	0.016	0.389	1.400
11	1.084	0.013	0.072	0.286	1.455
12	0.574	0.011	0.029	0.277	0.891
13	0.557	0.013	0.056	0.322	0.948
14	0.469	0.027	0.007	0.185	0.688
15	0.932	0.016	0.027	0.215	1.190
17	0.585	0.008	0.05	0.24	0.883
19	0.463	0.008	0.086	0.184	0.741
ค่าเฉลี่ย	0.705	0.014	0.037	0.268	1.024

ตารางที่ 4.35 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น
จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
1	1.806	0.027	0.024	0.303	2.160
2	1.062	0.018	0.037	0.543	1.660
3	0.496	0.010	0.022	0.419	0.947
4	0.612	0.010	0.075	0.158	0.855
5	0.552	0.014	0.026	0.203	0.795
6	0.694	0.015	0.058	0.356	1.123
7	0.637	0.007	0.025	0.312	0.981
8	0.493	0.017	0.017	0.175	0.702
9	1.099	0.021	0.018	0.438	1.576
11	1.220	0.014	0.081	0.322	1.637
12	0.646	0.012	0.033	0.312	1.003
13	0.627	0.014	0.063	0.362	1.066
14	0.529	0.030	0.008	0.209	0.776
15	1.050	0.018	0.03	0.243	1.341
17	0.659	0.009	0.056	0.27	0.994
19	0.522	0.009	0.096	0.207	0.834
ค่าเฉลี่ย	0.794	0.015	0.042	0.302	1.153

ตารางที่ 4.36 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น
จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
1	0.135	0.002	0.002	0.023	0.162
2	0.08	0.001	0.003	0.041	0.125
3	0.037	0.001	0.002	0.031	0.071
4	0.046	0.001	0.006	0.012	0.065
5	0.041	0.001	0.002	0.015	0.059
6	0.052	0.001	0.004	0.027	0.084
7	0.048	0.000	0.002	0.023	0.073
8	0.037	0.001	0.001	0.013	0.052
9	0.082	0.002	0.001	0.033	0.118
11	0.091	0.001	0.006	0.024	0.122
12	0.048	0.001	0.002	0.023	0.074
13	0.047	0.001	0.005	0.027	0.080
14	0.04	0.002	0.001	0.016	0.059
15	0.079	0.001	0.002	0.018	0.100
17	0.049	0.001	0.004	0.020	0.074
19	0.039	0.001	0.007	0.016	0.063
ค่าเฉลี่ย	0.059	0.001	0.003	0.023	0.086

ตารางที่ 4.37 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่น
พื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
1	0.162	0.002	0.002	0.027	0.193
2	0.095	0.002	0.003	0.049	0.149
3	0.045	0.001	0.002	0.038	0.086
4	0.055	0.001	0.007	0.014	0.077
5	0.050	0.001	0.002	0.018	0.071
6	0.062	0.001	0.005	0.032	0.100
7	0.057	0.001	0.002	0.028	0.088
8	0.044	0.002	0.002	0.016	0.064
9	0.099	0.002	0.002	0.039	0.142
11	0.110	0.001	0.007	0.029	0.147
12	0.058	0.001	0.003	0.028	0.090
13	0.056	0.001	0.006	0.033	0.096
14	0.048	0.003	0.001	0.019	0.071
15	0.094	0.002	0.003	0.022	0.121
17	0.059	0.001	0.005	0.024	0.089
19	0.047	0.001	0.009	0.019	0.076
ค่าเฉลี่ย	0.071	0.001	0.004	0.027	0.103

4.5.3 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน จำแนกตามกลุ่มเป้าหมายและพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่น รายงานค่าความเสี่ยงแบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทาง การสัมผัส (เส้นทาง การกลืนกิน) ผ่านการคำนวณค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) และการประเมินความเสี่ยงแบบหลายสารต่อหนึ่งเส้นทาง การสัมผัส (เส้นทาง การกลืนกิน) ของโลหะหนักที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน เป็นการคำนวณสัดส่วนแบบผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิด (Hazard Index: HI) ดังนี้

4.5.3.1 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ เส้นทาง การสัมผัสโดยการกลืนกิน ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิด ≤ 1 เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่เมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า ค่าตะกั่ว บ้านหลังที่ 1, 2 และ 15 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.414, 1.150 และ 1.160 ตามลำดับ ซึ่งเกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสตะกั่ว แต่โลหะหนักชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยง ≤ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ เมื่อคำนวณค่า HI เส้นทาง การสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่า ผลรวมค่าความเสี่ยงของการสัมผัสโลหะหนักทุกชนิด เท่ากับ 1.038 รวมทั้งเมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า บ้านหลังที่ 1, 2, 7, 9, 11 และ 15 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.746, 1.750, 1.400, 1.098, 1.196, 1.114, 1.111 และ 1.440 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงเกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าว ดังตารางที่ 4.38

4.5.3.2 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น พบว่า ค่า HQ เส้นทาง การสัมผัสโดยการกลืนกิน ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิด ≤ 1 เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่เมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า ค่าตะกั่ว บ้านหลังที่ 1, 2 และ 15 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.593, 1.295 และ 1.306 ตามลำดับ ซึ่งเกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสตะกั่ว แต่โลหะหนักชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยง ≤ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ เมื่อคำนวณค่า HI พบว่า ผลรวมค่าความเสี่ยงของการสัมผัสโลหะหนักทุกชนิด เท่ากับ 1.168 จำแนกรายบ้าน พบว่า บ้านหลังที่ 1, 2, 6, 7, 9, 11, 13, 15 และ 17 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.966, 1.971, 1.063, 1.235, 1.347, 1.255, 1.250, 1.621 และ 1.019 ตามลำดับ ซึ่งเกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าว ดังตารางที่ 4.39

4.5.3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ และ ค่า HI เส้นทาง การสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิดมีค่า ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.40

4.5.3.4 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

พบว่า ค่า HQ และ ค่า HI เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิด มีค่า ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.38 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น บริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
L01	1.414	0.022	0.024	0.286	1.746
L02	1.150	0.024	0.031	0.545	1.750
L03	0.445	0.012	0.027	0.382	0.866
L04	0.540	0.009	0.089	0.143	0.781
L05	0.548	0.013	0.009	0.163	0.733
L06	0.625	0.013	0.006	0.299	0.943
L07	0.704	0.008	0.035	0.351	1.098
L08	0.463	0.016	0.009	0.161	0.649
L09	0.784	0.019	0.006	0.387	1.196
L11	0.736	0.012	0.082	0.284	1.114
L12	0.557	0.012	0.035	0.262	0.866
L13	0.631	0.013	0.099	0.368	1.111
L14	0.491	0.024	0.006	0.189	0.710
L15	1.160	0.016	0.045	0.219	1.440
L17	0.617	0.008	0.075	0.206	0.906
L19	0.440	0.010	0.053	0.202	0.705
ค่าเฉลี่ย	0.707	0.014	0.039	0.278	1.038

ตารางที่ 4.39 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
L01	1.593	0.024	0.027	0.322	1.966
L02	1.295	0.028	0.035	0.613	1.971
L03	0.501	0.013	0.030	0.430	0.974
L04	0.608	0.010	0.100	0.161	0.879
L05	0.617	0.015	0.010	0.184	0.826
L06	0.704	0.015	0.007	0.337	1.063
L07	0.792	0.009	0.039	0.395	1.235
L08	0.521	0.018	0.010	0.181	0.730
L09	0.882	0.022	0.007	0.436	1.347
L11	0.829	0.014	0.092	0.320	1.255
L12	0.627	0.013	0.040	0.296	0.976
L13	0.710	0.015	0.111	0.414	1.250
L14	0.552	0.027	0.007	0.213	0.799
L15	1.306	0.018	0.050	0.247	1.621
L17	0.694	0.009	0.084	0.232	1.019
L19	0.495	0.011	0.059	0.228	0.793
ค่าเฉลี่ย	0.795	0.016	0.044	0.313	1.168

ตารางที่ 4.40 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
L01	0.119	0.002	0.002	0.024	0.147
L02	0.097	0.002	0.003	0.046	0.148
L03	0.038	0.001	0.002	0.032	0.073
L04	0.046	0.001	0.007	0.012	0.066
L05	0.046	0.001	0.001	0.014	0.062
L06	0.053	0.001	0.001	0.025	0.08
L07	0.059	0.001	0.003	0.030	0.093
L08	0.039	0.001	0.001	0.014	0.055
L09	0.066	0.002	0.001	0.033	0.102
L11	0.062	0.001	0.007	0.024	0.094
L12	0.047	0.001	0.003	0.022	0.073
L13	0.053	0.001	0.008	0.031	0.093
L14	0.041	0.002	0.001	0.016	0.06
L15	0.098	0.001	0.004	0.019	0.122
L17	0.052	0.001	0.006	0.017	0.076
L19	0.037	0.001	0.004	0.017	0.059
ค่าเฉลี่ย	0.060	0.001	0.003	0.024	0.088

ตารางที่ 4.41 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่น
พื้นบริเวณห้องนั่งเล่นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
L01	0.143	0.002	0.002	0.029	0.176
L02	0.116	0.002	0.003	0.055	0.176
L03	0.045	0.001	0.003	0.039	0.088
L04	0.055	0.001	0.009	0.014	0.079
L05	0.055	0.001	0.001	0.017	0.074
L06	0.063	0.001	0.001	0.030	0.095
L07	0.071	0.001	0.004	0.036	0.112
L08	0.047	0.002	0.001	0.016	0.066
L09	0.079	0.002	0.001	0.039	0.121
L11	0.075	0.001	0.008	0.029	0.113
L12	0.056	0.001	0.004	0.027	0.088
L13	0.064	0.001	0.010	0.037	0.112
L14	0.050	0.002	0.001	0.019	0.072
L15	0.117	0.002	0.005	0.022	0.146
L17	0.062	0.001	0.008	0.021	0.092
L19	0.045	0.001	0.005	0.020	0.071
ค่าเฉลี่ย	0.071	0.001	0.004	0.028	0.104

4.5.3.5 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอน จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิด ≤ 1 เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่เมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า ค่าตะกั่ว บ้านหลังที่ 1, 9 และ 11 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.794, 1.168 และ 1.431 ตามลำดับ ซึ่งเกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสตะกั่ว แต่โลหะหนักชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยง ≤ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ เมื่อคำนวณค่า HI เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่า ผลรวมค่าความเสี่ยงของการสัมผัสโลหะหนักทุกชนิด เท่ากับ 1.010 รวมทั้งเมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า บ้านหลังที่ 1, 2, 6, 9 และ 11 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 2.092, 1.199, 1.052, 1.605 และ 1.793 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงเกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าว ดังตารางที่ 4.42

4.5.3.6 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอน พบว่า ค่า HQ เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิด ≤ 1 เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่เมื่อจำแนกรายบ้าน พบว่า ค่าตะกั่ว บ้านหลังที่ 1, 9 และ 11 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 2.020, 1.315 และ 1.611 ตามลำดับ ซึ่งเกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสตะกั่ว แต่โลหะหนักชนิดอื่นมีค่าความเสี่ยง ≤ 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ เมื่อคำนวณค่า HI พบว่า ผลรวมค่าความเสี่ยงของการสัมผัสโลหะหนักทุกชนิด เท่ากับ 1.139 จำแนกรายบ้าน พบว่า บ้านหลังที่ 1, 2, 6, 9, 11, 12 และ 15 มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 2.356, 1.350, 1.185, 1.806, 2.019, 1.034 และ 1.059 ตามลำดับ ซึ่งเกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าว ดังตารางที่ 4.43

4.5.3.7 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นห้องนอน จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ และ ค่า HI เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิดมีค่า ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.44

4.5.3.8 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอน จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่า HQ และ ค่า HI เส้นทางการรับสัมผัสโดยการกลืนกิน พบว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทุกชนิดมีค่า ≤ 1 ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.42 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
B01	1.794	0.026	0.019	0.253	2.092
B02	0.736	0.008	0.035	0.42	1.199
B03	0.436	0.006	0.012	0.363	0.817
B04	0.547	0.009	0.044	0.137	0.737
B05	0.432	0.012	0.038	0.197	0.679
B06	0.607	0.014	0.097	0.334	1.052
B07	0.428	0.004	0.009	0.203	0.644
B08	0.413	0.014	0.022	0.151	0.600
B09	1.168	0.018	0.027	0.392	1.605
B11	1.431	0.013	0.062	0.287	1.793
B12	0.592	0.010	0.024	0.292	0.918
B13	0.483	0.012	0.013	0.275	0.783
B14	0.448	0.030	0.009	0.182	0.669
B15	0.705	0.016	0.009	0.211	0.941
B17	0.554	0.008	0.025	0.273	0.860
B19	0.487	0.007	0.119	0.165	0.778
ค่าเฉลี่ย	0.704	0.013	0.035	0.258	1.010

ตารางที่ 4.43 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
B01	2.020	0.030	0.021	0.285	2.356
B02	0.828	0.009	0.040	0.473	1.350
B03	0.491	0.007	0.013	0.409	0.920
B04	0.616	0.010	0.049	0.154	0.829
B05	0.487	0.014	0.043	0.222	0.766
B06	0.684	0.016	0.109	0.376	1.185
B07	0.482	0.004	0.010	0.229	0.725
B08	0.465	0.016	0.025	0.170	0.676
B09	1.315	0.020	0.030	0.441	1.806
B11	1.611	0.014	0.070	0.324	2.019
B12	0.666	0.012	0.027	0.329	1.034
B13	0.544	0.013	0.014	0.310	0.881
B14	0.505	0.034	0.010	0.205	0.754
B15	0.793	0.018	0.010	0.238	1.059
B17	0.624	0.010	0.028	0.308	0.970
B19	0.549	0.008	0.134	0.186	0.877
ค่าเฉลี่ย	0.793	0.015	0.040	0.291	1.139

ตารางที่ 4.44 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
B01	0.151	0.002	0.002	0.021	0.176
B02	0.062	0.001	0.003	0.035	0.101
B03	0.037	0.001	0.001	0.031	0.070
B04	0.046	0.001	0.004	0.012	0.063
B05	0.037	0.001	0.003	0.017	0.058
B06	0.051	0.001	0.008	0.028	0.088
B07	0.036	0.000	0.001	0.017	0.054
B08	0.035	0.001	0.002	0.013	0.051
B09	0.099	0.002	0.002	0.033	0.136
B11	0.121	0.001	0.005	0.024	0.151
B12	0.050	0.001	0.002	0.025	0.078
B13	0.041	0.001	0.001	0.023	0.066
B14	0.038	0.003	0.001	0.015	0.057
B15	0.059	0.001	0.001	0.018	0.079
B17	0.047	0.001	0.002	0.023	0.073
B19	0.041	0.001	0.010	0.014	0.066
ค่าเฉลี่ย	0.059	0.001	0.003	0.022	0.085

ตารางที่ 4.45 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่น
พื้นบริเวณห้องนอนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัสตัวอย่าง	ค่า HQ				ค่า HI
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สารหนู	โครเมียม	
B01	0.182	0.003	0.002	0.026	0.213
B02	0.074	0.001	0.004	0.043	0.122
B03	0.044	0.001	0.001	0.037	0.083
B04	0.055	0.001	0.004	0.014	0.074
B05	0.044	0.001	0.004	0.020	0.069
B06	0.061	0.001	0.010	0.034	0.106
B07	0.043	0.000	0.001	0.021	0.065
B08	0.042	0.001	0.002	0.015	0.060
B09	0.118	0.002	0.003	0.040	0.163
B11	0.145	0.001	0.006	0.029	0.181
B12	0.060	0.001	0.002	0.030	0.093
B13	0.049	0.001	0.001	0.028	0.079
B14	0.045	0.003	0.001	0.018	0.067
B15	0.071	0.002	0.001	0.021	0.095
B17	0.056	0.001	0.003	0.028	0.088
B19	0.049	0.001	0.012	0.017	0.079
ค่าเฉลี่ย	0.071	0.001	0.004	0.026	0.102

สรุปผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน เพื่อการอธิบายลักษณะของความเสี่ยงสำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ประเมินความเสี่ยงแบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทางการรับสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) ผ่านการคำนวณค่าความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) และการประเมินความเสี่ยงแบบหลายสารต่อหนึ่งเส้นทางการรับสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) ของโลหะหนักที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน เป็นการคำนวณสัดส่วนแบบผลรวมค่าความเสี่ยงของสารแต่ละชนิด (Hazard Index: HI) พบว่า เด็กผู้ชาย และ เด็กผู้หญิง มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.024 และ 1.153 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเสี่ยงมากกว่า 1 แสดง

ให้เห็นว่ามีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนัก เมื่อจำแนกรายละเอียดค่าความเสี่ยงค่า HQ รายบ้าน ทั้งภาพรวมของการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้านทั้งห้องนอนและห้องนั่งเล่น และการจำแนกเฉพาะค่าความเสี่ยงของห้องนอน และค่าความเสี่ยงของห้องนั่งเล่น พบว่า โลหะหนักที่มีค่าความเสี่ยง HQ มากกว่า 1 มีเพียงสารตะกั่ว ทั้งในเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิง เช่นเดียวกับค่า HI พบว่า ทั้งภาพรวมภายในบ้านรวมห้องนอนและห้องนั่งเล่น และการคำนวณแยกระหว่างฝุ่นพื้นห้องนอนและห้องนั่งเล่น พบว่า ในเด็กผู้ชาย และเด็กผู้หญิง บางหลังคาเรือนพบค่า HI มากกว่า 1 ซึ่งเกิดภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนัก

ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Chu et al. (2023) พบว่า ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพบ่งชี้ว่าสารตะกั่วมีความเสี่ยงต่อสุขภาพในกลุ่มเด็ก รวมทั้ง การศึกษาของ Somsunun et al. (2023) พบว่า เด็กมีความเสี่ยงจากการสัมผัสโลหะหนักผ่านการกลืนกินทั้งค่า HQ=1.39 และค่า HI=1.45 และ Wang et al. (2023) พบว่า ตะกั่ว และ สารหนู พบความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งต่อเด็ก Oguri et al. (2018) พบว่า การรับสัมผัสโลหะหนัก Cd, Cu, Mn, Sb และ Zn จากดินและฝุ่นพื้นผ่านทางอาหารมีนัยสำคัญทางสถิติ Singh et al. (2018) พบว่า ค่า HI ของตะกั่วในฝุ่นดินมีค่าเท่ากับ 5.82 ซึ่งมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ He et al. (2017) พบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุดของการกลืนกินตะกั่วต่อวัน ของเด็กวัยหัดเดิน ในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์คือ 16% ซึ่งสูงกว่าปริมาณอ้างอิง 18 เท่า บ่งชี้ว่ามีความเสี่ยงสูง อีกทั้ง การสัมผัสกับโลหะหนักจากตัวอย่างอื่นๆ นอกจากฝุ่นพื้น ก็พบความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยเช่นกัน ดังเช่นการศึกษาของ Shi and Wang (2021) พบว่า ระดับตะกั่วในเลือดในกลุ่มเด็กเกิน $35 \mu\text{g/L}$ (ค่าขีดจำกัดในเยอรมนี) $50 \mu\text{g/L}$ (ค่าขีดจำกัดในสหรัฐอเมริกา) หรือ $100 \mu\text{g/L}$ (ค่าขีดจำกัดในจีน) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการได้รับตะกั่วจากฝุ่นภายในอาคารถือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดพิษตะกั่วในเลือดของเด็ก รวมทั้งการศึกษาของ Zhang et al. (2014) ค่าความเสี่ยง HQ ของตะกั่วและแคดเมียมมีความเสี่ยงต่อสุขภาพระดับสูงทั้งในกลุ่มเด็กและผู้ใหญ่

4.5.4 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง เป็นการคำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิต (Excess Lifetime Cancer Risk: ELCR) ดังนี้

4.5.4.1 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู ในเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง และการสัมผัสโครเมียมในผู้ใหญ่ทั้งผู้ชายและผู้หญิง มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1×10^{-7} ถึง 1×10^{-4} แต่การสัมผัสโครเมียมในเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.02×10^{-4} และ

4.53×10^{-4} ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่า 1×10^{-4} เป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

กลุ่มประชากร	ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง	
	สารหนู	โครเมียม
เด็กผู้ชาย	1.67×10^{-5}	4.02×10^{-4}
เด็กผู้หญิง	1.89×10^{-5}	4.53×10^{-4}
ผู้ใหญ่ผู้ชาย	1.41×10^{-6}	3.40×10^{-5}
ผู้ใหญ่ผู้หญิง	1.69×10^{-6}	4.07×10^{-5}

4.5.4.2 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินสำหรับเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ทุกหลังคาเรือน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.37×10^{-6} ถึง 3.85×10^{-5} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.89×10^{-5} แต่ผลการประเมินการสัมผัสโครเมียมทุกบ้านอยู่ระหว่าง 2.10×10^{-4} ถึง 7.24×10^{-4} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.02×10^{-4} ทั้งหมดมีค่ามากกว่า 1×10^{-4} ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.47

4.5.4.3 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินสำหรับเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ทุกหลังคาเรือน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.80×10^{-6} ถึง 4.34×10^{-5} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.67×10^{-5} แต่ผลการประเมินการสัมผัสโครเมียมทุกบ้านอยู่ระหว่าง 2.37×10^{-4} ถึง 8.15×10^{-4} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53×10^{-4} ทั้งหมดมีค่ามากกว่า 1×10^{-4} ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.47

4.5.4.4 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินสำหรับผู้ใหญ่ผู้ชายและผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู และโครเมียม มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} ดังตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.47 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของเด็กผู้ชาย และเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง เด็กผู้ชาย		ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง เด็กผู้หญิง	
	สารหนู	โครเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	9.54×10^{-6}	4.04×10^{-4}	1.07×10^{-5}	4.55×10^{-4}
2	1.48×10^{-5}	7.24×10^{-4}	1.67×10^{-5}	8.15×10^{-4}
3	8.67×10^{-6}	5.59×10^{-4}	9.77×10^{-6}	6.29×10^{-4}
4	2.98×10^{-5}	2.10×10^{-4}	3.36×10^{-5}	2.37×10^{-4}
5	1.05×10^{-5}	2.70×10^{-4}	1.19×10^{-5}	3.04×10^{-4}
6	2.31×10^{-5}	4.75×10^{-4}	2.61×10^{-5}	5.34×10^{-4}
7	9.89×10^{-6}	4.16×10^{-4}	1.11×10^{-5}	4.68×10^{-4}
8	6.89×10^{-6}	2.34×10^{-4}	7.75×10^{-6}	2.63×10^{-4}
9	7.38×10^{-6}	5.84×10^{-4}	8.30×10^{-6}	6.57×10^{-4}
11	3.25×10^{-5}	4.29×10^{-4}	3.66×10^{-5}	4.83×10^{-4}
12	1.32×10^{-5}	4.16×10^{-4}	1.49×10^{-5}	4.69×10^{-4}
13	2.51×10^{-5}	4.82×10^{-4}	2.83×10^{-5}	5.43×10^{-4}
14	3.37×10^{-6}	2.78×10^{-4}	3.80×10^{-6}	3.13×10^{-4}
15	1.20×10^{-5}	3.23×10^{-4}	1.36×10^{-5}	3.64×10^{-4}
17	2.25×10^{-5}	3.59×10^{-4}	2.53×10^{-5}	4.05×10^{-4}
19	3.85×10^{-5}	2.76×10^{-4}	4.34×10^{-5}	3.10×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	1.67×10^{-5}	4.02×10^{-4}	1.89×10^{-5}	4.53×10^{-4}

ตารางที่ 4.48 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของผู้ใหญ่ ผู้ชายและผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะ อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ผู้ใหญ่ผู้ชาย		ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ผู้ใหญ่ผู้หญิง	
	สารหนู	โครเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	8.05×10^{-7}	3.41×10^{-5}	9.66×10^{-7}	4.09×10^{-5}
2	1.25×10^{-6}	6.11×10^{-5}	1.50×10^{-6}	7.33×10^{-5}
3	7.32×10^{-7}	4.72×10^{-5}	8.78×10^{-7}	5.65×10^{-5}
4	2.52×10^{-6}	1.77×10^{-5}	3.02×10^{-6}	2.13×10^{-5}
5	8.90×10^{-7}	2.28×10^{-5}	1.07×10^{-6}	2.74×10^{-5}
6	1.95×10^{-6}	4.01×10^{-5}	2.34×10^{-6}	4.80×10^{-5}
7	8.34×10^{-7}	3.51×10^{-5}	1.00×10^{-6}	4.21×10^{-5}
8	5.81×10^{-7}	1.97×10^{-5}	6.97×10^{-7}	2.37×10^{-5}
9	6.23×10^{-7}	4.93×10^{-5}	7.47×10^{-7}	5.91×10^{-5}
11	2.74×10^{-6}	3.62×10^{-5}	3.29×10^{-6}	4.34×10^{-5}
12	1.12×10^{-6}	3.51×10^{-5}	1.34×10^{-6}	4.21×10^{-5}
13	2.12×10^{-6}	4.07×10^{-5}	2.54×10^{-6}	4.88×10^{-5}
14	2.85×10^{-7}	2.35×10^{-5}	3.41×10^{-7}	2.81×10^{-5}
15	1.02×10^{-6}	2.73×10^{-5}	1.22×10^{-6}	3.27×10^{-5}
17	1.90×10^{-6}	3.03×10^{-5}	2.28×10^{-6}	3.64×10^{-5}
19	3.25×10^{-6}	2.33×10^{-5}	3.90×10^{-6}	2.79×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	1.41×10^{-6}	3.40×10^{-5}	1.69×10^{-6}	4.07×10^{-5}

4.5.5 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง คำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิต (Excess Lifetime Cancer Risk: ELCR) จำแนกตามกลุ่มเป้าหมายและพื้นที่เก็บตัวอย่าง ดังนี้

4.5.5.1 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกิน สำหรับเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู ทั้งในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งน้อยกว่า 1×10^{-4} เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ทุกหลังคาเรือน แต่ผลการประเมินการสัมผัสโครเมียมทุกหลังคาเรือนมีค่ามากกว่า 1×10^{-4} ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.49

4.5.5.2 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกิน สำหรับเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู ทั้งในฝุ่นพื้นบริเวณห้องนั่งเล่นและห้องนอน มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งน้อยกว่า 1×10^{-4} เป็นค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ทุกหลังคาเรือน แต่ผลการประเมินการสัมผัสโครเมียมทุกหลังคาเรือนมีค่ามากกว่า 1×10^{-4} ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังตารางที่ 4.50

4.5.5.3 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกิน สำหรับผู้ใหญ่ผู้ชายและผู้ใหญ่ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้น จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู และโครเมียม มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} ดังตารางที่ 4.51-4.52

ตารางที่ 4.49 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของเด็กผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น		ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน	
	สารหนู	โครเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	1.06×10^{-5}	4.29×10^{-4}	8.47×10^{-6}	3.80×10^{-4}
2	1.38×10^{-5}	8.17×10^{-4}	1.58×10^{-5}	6.30×10^{-4}
3	1.22×10^{-5}	5.73×10^{-4}	5.19×10^{-6}	5.44×10^{-4}
4	4.00×10^{-5}	2.15×10^{-4}	1.97×10^{-5}	2.06×10^{-4}
5	3.99×10^{-6}	2.45×10^{-4}	1.71×10^{-5}	2.96×10^{-4}
6	2.76×10^{-6}	4.49×10^{-4}	4.35×10^{-5}	5.01×10^{-4}
7	1.58×10^{-5}	5.27×10^{-4}	3.99×10^{-6}	3.05×10^{-4}
8	3.90×10^{-6}	2.42×10^{-4}	9.87×10^{-6}	2.26×10^{-4}
9	2.76×10^{-6}	5.80×10^{-4}	1.20×10^{-5}	5.87×10^{-4}
11	3.68×10^{-5}	4.26×10^{-4}	2.81×10^{-5}	4.31×10^{-4}
12	1.58×10^{-5}	3.94×10^{-4}	1.06×10^{-5}	4.39×10^{-4}
13	4.45×10^{-5}	5.52×10^{-4}	5.65×10^{-6}	4.12×10^{-4}
14	2.76×10^{-6}	2.83×10^{-4}	3.99×10^{-6}	2.73×10^{-4}
15	2.01×10^{-5}	3.29×10^{-4}	3.99×10^{-6}	3.17×10^{-4}
17	3.37×10^{-5}	3.09×10^{-4}	1.13×10^{-5}	4.10×10^{-4}
19	2.36×10^{-5}	3.04×10^{-4}	5.34×10^{-5}	2.48×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	1.77×10^{-5}	4.17×10^{-4}	1.58×10^{-5}	3.88×10^{-4}

ตารางที่ 4.50 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของเด็กผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น		ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน	
	สารหนู	โครเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	1.20×10^{-5}	4.83×10^{-4}	9.53×10^{-6}	4.28×10^{-4}
2	1.55×10^{-5}	9.20×10^{-4}	1.78×10^{-5}	7.10×10^{-4}
3	1.37×10^{-5}	6.45×10^{-4}	5.85×10^{-6}	6.13×10^{-4}
4	4.50×10^{-5}	2.42×10^{-4}	2.21×10^{-5}	2.32×10^{-4}
5	4.49×10^{-6}	2.76×10^{-4}	1.93×10^{-5}	3.33×10^{-4}
6	3.11×10^{-6}	5.05×10^{-4}	4.90×10^{-5}	5.64×10^{-4}
7	1.78×10^{-5}	5.93×10^{-4}	4.49×10^{-6}	3.43×10^{-4}
8	4.40×10^{-6}	2.72×10^{-4}	1.11×10^{-5}	2.54×10^{-4}
9	3.11×10^{-6}	6.53×10^{-4}	1.35×10^{-5}	6.61×10^{-4}
11	4.15×10^{-5}	4.80×10^{-4}	3.17×10^{-5}	4.86×10^{-4}
12	1.78×10^{-5}	4.43×10^{-4}	1.20×10^{-5}	4.94×10^{-4}
13	5.02×10^{-5}	6.22×10^{-4}	6.36×10^{-6}	4.64×10^{-4}
14	3.11×10^{-6}	3.19×10^{-4}	4.49×10^{-6}	3.07×10^{-4}
15	2.26×10^{-5}	3.70×10^{-4}	4.49×10^{-6}	3.57×10^{-4}
17	3.79×10^{-5}	3.48×10^{-4}	1.27×10^{-5}	4.62×10^{-4}
19	2.66×10^{-5}	3.42×10^{-4}	6.02×10^{-5}	2.79×10^{-4}
ค่าเฉลี่ย	1.99×10^{-5}	4.70×10^{-4}	1.78×10^{-5}	4.37×10^{-4}

ตารางที่ 4.51 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของผู้ใหญ่
ผู้ชายจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ใน
ประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น		ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน	
	สารหนู	โครเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	8.96×10^{-7}	3.62×10^{-5}	7.15×10^{-7}	3.21×10^{-5}
2	1.16×10^{-6}	6.90×10^{-5}	1.33×10^{-6}	5.32×10^{-5}
3	1.03×10^{-6}	4.84×10^{-5}	4.38×10^{-7}	4.59×10^{-5}
4	3.37×10^{-6}	1.81×10^{-5}	1.66×10^{-6}	1.74×10^{-5}
5	3.37×10^{-7}	2.07×10^{-5}	1.44×10^{-6}	2.50×10^{-5}
6	2.33×10^{-7}	3.79×10^{-5}	3.67×10^{-6}	4.23×10^{-5}
7	1.33×10^{-6}	4.45×10^{-5}	3.37×10^{-7}	2.57×10^{-5}
8	3.30×10^{-7}	2.04×10^{-5}	8.33×10^{-7}	1.91×10^{-5}
9	2.33×10^{-7}	4.90×10^{-5}	1.01×10^{-6}	4.96×10^{-5}
11	3.11×10^{-6}	3.60×10^{-5}	2.37×10^{-6}	3.64×10^{-5}
12	1.33×10^{-6}	3.32×10^{-5}	8.98×10^{-7}	3.70×10^{-5}
13	3.76×10^{-6}	4.66×10^{-5}	4.77×10^{-7}	3.48×10^{-5}
14	2.33×10^{-7}	2.39×10^{-5}	3.37×10^{-7}	2.30×10^{-5}
15	1.70×10^{-6}	2.78×10^{-5}	3.37×10^{-7}	2.68×10^{-5}
17	2.84×10^{-6}	2.61×10^{-5}	9.52×10^{-7}	3.46×10^{-5}
19	2.00×10^{-6}	2.56×10^{-5}	4.51×10^{-6}	2.09×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	1.49×10^{-6}	3.52×10^{-5}	1.33×10^{-6}	3.27×10^{-5}

ตารางที่ 4.52 ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินของผู้ใหญ่
ผู้หญิงจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์
ในประเทศไทย จำแนกตามพื้นที่เก็บตัวอย่าง

รหัส ตัวอย่าง	ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น		ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ตัวอย่างฝุ่นพื้นห้องนอน	
	สารหนู	โครเมียม	สารหนู	โครเมียม
1	1.08×10^{-6}	4.34×10^{-5}	8.57×10^{-7}	3.84×10^{-5}
2	1.40×10^{-6}	8.27×10^{-5}	1.60×10^{-6}	6.38×10^{-5}
3	1.23×10^{-6}	5.80×10^{-5}	5.26×10^{-7}	5.51×10^{-5}
4	4.05×10^{-6}	2.17×10^{-5}	1.99×10^{-6}	2.08×10^{-5}
5	4.04×10^{-7}	2.48×10^{-5}	1.73×10^{-6}	2.99×10^{-5}
6	2.79×10^{-7}	4.54×10^{-5}	4.41×10^{-6}	5.07×10^{-5}
7	1.60×10^{-6}	5.33×10^{-5}	4.04×10^{-7}	3.09×10^{-5}
8	3.95×10^{-7}	2.44×10^{-5}	9.99×10^{-7}	2.29×10^{-5}
9	2.79×10^{-7}	5.87×10^{-5}	1.21×10^{-6}	5.94×10^{-5}
11	3.73×10^{-6}	4.31×10^{-5}	2.85×10^{-6}	4.37×10^{-5}
12	1.60×10^{-6}	3.98×10^{-5}	1.08×10^{-6}	4.44×10^{-5}
13	4.51×10^{-6}	5.59×10^{-5}	5.72×10^{-7}	4.18×10^{-5}
14	2.79×10^{-7}	2.87×10^{-5}	4.04×10^{-7}	2.76×10^{-5}
15	2.04×10^{-6}	3.33×10^{-5}	4.04×10^{-7}	3.21×10^{-5}
17	3.41×10^{-6}	3.13×10^{-5}	1.14×10^{-6}	4.15×10^{-5}
19	2.39×10^{-6}	3.07×10^{-5}	5.41×10^{-6}	2.51×10^{-5}
ค่าเฉลี่ย	1.79×10^{-6}	4.22×10^{-5}	1.60×10^{-6}	3.93×10^{-5}

ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งผ่านเส้นทางการกลืนกินจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสโครเมียมในเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิง มีค่ามากกว่า 1×10^{-4} เป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ รวมทั้งเมื่อจำแนกรายหลังคาเรือน และรายพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่น ระหว่างห้องนั่งเล่นและห้องนอน พบว่า มีค่าความเสี่ยงมากกว่า 1×10^{-4} ทุกหลังคาเรือน ทุกจุด ซึ่งเป็นค่าที่ไม่

สามารถยอมรับความเสี่ยงได้ ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Somsunun et al. (2023) ซึ่งพบว่า ความเสี่ยงต่อมะเร็งตลอดชีวิตจากการสัมผัสกับโลหะหนักในผู้ใหญ่ (5.31×10^{-4}) และเด็ก (9.05×10^{-4}) ความเสี่ยงต่อมะเร็งจากการรับประทานโลหะหนักในพื้นที่ชนบทจะสูงกว่าพื้นที่เขตเมือง ผู้ใหญ่ประมาณ 5 ใน 10,000 คน และเด็ก 9 ใน 10,000 คน อาจเกิดมะเร็งในช่วงชีวิตจากการสัมผัสกับโลหะหนัก

ผลการศึกษาายังสอดคล้องกับผู้วิจัยบางท่านซึ่งศึกษาในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเช่นกัน แต่เป็นตัวอย่างชนิดอื่นนอกจากฝุ่นพื้น พบค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ US EPA กำหนด โดยเฉพาะค่าโครเมียม ดังนี้ การศึกษาของ ดุษฎี หมื่นห่อ และคณะ (2559) เก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับหายใจของช่างซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คำนวณค่าความเสี่ยงโรคมะเร็งจากการหายใจ แคดเมียม และ โครเมียม เข้าสู่ร่างกาย พบว่า มีความเสี่ยงเท่ากับ 3.2×10^{-3} และ 7×10^{-4} ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการศึกษาของ Zheng et al. (2016) เก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ บริเวณพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ความเสี่ยงของโลหะหนักที่อาจเกิดมะเร็งจากแคดเมียม และ โครเมียม โดยรวมทั้งเด็กและผู้ใหญ่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US EPA และ Huang et al. (2016) ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการสูดดมฝุ่นละอองที่มีอนุภาคนาโนขนาดเล็กในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของโลหะหนักที่ก่อให้เกิดมะเร็ง 5 ชนิด คือ Cr, Co, Ni, As และ Cd สำหรับผู้ใหญ่และเด็กสูงกว่าช่วงความเสี่ยงที่ยอมรับได้ 1×10^{-6} – 1×10^{-4} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Singh et al. (2018) เก็บตัวอย่าง ดิน ฝุ่นพื้น พบว่า ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในผู้ใหญ่จากการปนเปื้อน Cr ในตัวอย่างดินเท่ากับ 3.4×10^{-3} ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้

ผลการคำนวณการสัมผัสสารหนู ทั้งในกลุ่มเด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และ ผู้ใหญ่ผู้หญิง และการสัมผัสโครเมียมในผู้ใหญ่ทั้งผู้ชายและผู้หญิง มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} รวมทั้งเมื่อจำแนกรายบ้านทั้งการคำนวณรวมระหว่าง ฝุ่นพื้นห้องนอนและฝุ่นพื้นห้องนั่งเล่น และการคำนวณแยกแต่ละจุดก็พบว่าทุกจุดทุกหลังคาเรือนมีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้เช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1×10^{-7} ถึง 1×10^{-4} สอดคล้องกับการศึกษาของ Somsunun et al. (2023) พบว่า ความเสี่ยงต่อมะเร็งตลอดชีวิตจากการสัมผัสกับโลหะหนักในผู้ใหญ่ (5.31×10^{-4}) และเด็ก (9.05×10^{-4}) ความเสี่ยงต่อมะเร็งจากการรับประทานโลหะหนักในพื้นที่ชนบทจะสูงกว่าพื้นที่เขตเมือง ผู้ใหญ่ประมาณ 5 ใน 10,000 คน และเด็ก 9 ใน 10,000 คน อาจเกิดมะเร็งในช่วงชีวิตจากการสัมผัสกับโลหะหนัก และการศึกษาของ Wang et al. (2023) ก็พบว่าโลหะหนักที่ศึกษาไม่พบความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งด้วยเช่นกัน อีกทั้งการศึกษาของ Yang et al. (2013) พบว่า ค่าความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งสำหรับ Cr และ Cd มีค่าต่ำกว่า 1×10^{-6} ซึ่งเป็นค่า

ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ และ Perihan (2012) พบว่า ระดับความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของโครเมียมในผู้ใหญ่และเด็กด้วยการประเมินการสัมผัสโลหะหนักทางการกิน เท่ากับ 3.7×10^{-5} ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ US EPA กำหนดค่ามาตรฐานไว้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการผันแปรตามฤดูกาลของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นและความเสี่ยงต่อสุขภาพในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยสามารถสรุปและอภิปรายผลการศึกษิตตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ผลการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง ICP-OES ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Avio 500 พบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจได้ (LOD) ของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เท่ากับ 0.04 mg/kg ส่วนค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบและอ่านค่าอย่างถูกต้อง (LOQ) ของตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม เท่ากับ 0.13 mg/kg ส่วนสารหนู เท่ากับ 0.21 mg/kg ร้อยละการได้คืนกลับ (% Recovery) สำหรับ SRM 2584 Trace Elements in Indoor Dust (Nominal 1 % Lead) ตะกั่ว เท่ากับ 91.97 % แคดเมียม เท่ากับ 93.67 % สารหนู เท่ากับ 88.85 % และ โครเมียม เท่ากับ 89.40 % ส่วน SRM 2711a (Montana II Soil) แคดเมียม เท่ากับ 91.53 % สารหนู เท่ากับ 94.39 % และ โครเมียม เท่ากับ 89.38 %

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล พบว่า ตะกั่วมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดในฤดูร้อน เท่ากับ 192.44 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 161.73 mg/kg แคดเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดในฤดูร้อน เท่ากับ 1.04 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 1.01 mg/kg สารหนูมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดในฤดูหนาว เท่ากับ 0.87 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูร้อน เท่ากับ 0.57 mg/kg และโครเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดในฤดูร้อน เท่ากับ 61.43 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 52.03 mg/kg

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย จำแนกตามฤดูกาล พบว่า ตะกั่วมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงสุดในฤดูร้อน เท่ากับ 79.58 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 49.11 mg/kg

แคดเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูหนาว เท่ากับ 0.45 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูร้อน เท่ากับ 0.37 mg/kg สารหนูมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูหนาว เท่ากับ 0.56 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูร้อน เท่ากับ 0.24 mg/kg และโครเมียมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูร้อน เท่ากับ 28.90 mg/kg รองลงมาคือ ฤดูหนาว เท่ากับ 24.87 mg/kg

5.1.3 ผลการศึกษาการผันแปรตามฤดูกาล (ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว) ของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า การทดสอบความแปรปรวนความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว, แคดเมียม และโครเมียม แต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$) ส่วนค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูแต่ละฤดูกาลไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก (ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู และโครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ตามฤดูกาล ด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) พบว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) จำนวน 2 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมก็แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) จำนวน 2 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว รวมทั้งค่าความเข้มข้นของโครเมียมก็มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) จำนวน 2 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และ ฤดูฝนกับฤดูหนาว

5.1.4 ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นถนนจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) ส่วนค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว แคดเมียม และสารหนูแต่ละฤดูกาลไม่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียมซึ่งผลการทดสอบพบว่าแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) รวมทั้งทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมร่วมด้วยเนื่องจากผลการทดสอบค่าทางสถิติ One Way ANOVA ได้ค่า Significant เท่ากับ 0.072 ทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) ผลการศึกษาพบว่า ฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของโครเมียมแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) จำนวน 1 คู่ คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน และฤดูกาลที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) จำนวน 1 คู่ คือ ฤดูฝนกับฤดูหนาว

5.1.5 ผลการประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนเนื่องจากการรับสัมผัสโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และ โครเมียม) ในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่เด็กผู้ชายได้รับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นภายในบ้าน (ห้องนั่งเล่นและห้องนอน) จากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณที่ได้รับสัมผัสโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.47×10^{-3} , 1.37×10^{-5} , 1.12×10^{-5} และ 8.05×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ปริมาณที่เด็กผู้หญิงได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.78×10^{-3} , 1.55×10^{-5} , 1.26×10^{-5} และ 9.06×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้ชายได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.08×10^{-4} , 1.16×10^{-6} , 9.42×10^{-7} และ 6.79×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ และ ปริมาณที่ผู้ใหญ่ผู้หญิงได้รับสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม เฉลี่ยเท่ากับ 2.50×10^{-4} , 1.39×10^{-6} , 1.13×10^{-6} และ 8.15×10^{-5} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-น้ำหนักร่างกาย/วัน ตามลำดับ

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักที่มนุษย์รับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกิน พบว่า ความเสี่ยงแบบ 1 สาร จาก 1 เส้นทางการสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) โลหะหนักทุกชนิดของทุกกลุ่มเป้าหมาย (เด็กผู้ชาย เด็กผู้หญิง ผู้ใหญ่ผู้ชาย และผู้ใหญ่ผู้หญิง) (Hazard Quotient: HQ) มีค่าความเสี่ยงน้อยกว่า 1 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ต่อการรับสัมผัสสาร แต่ค่าความเสี่ยงแบบหลายสารต่อหนึ่งเส้นทางการสัมผัส (เส้นทางการกลืนกิน) ของโลหะหนักที่มีผลต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน (Hazard Index: HI) ผู้ใหญ่ผู้ชาย เท่ากับ 0.086 ผู้ใหญ่ผู้หญิง เท่ากับ 0.106 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ต่อการสัมผัสโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด แต่เด็กผู้ชาย และเด็กผู้หญิง มีค่าความเสี่ยง เท่ากับ 1.024 และ 1.153 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเสี่ยงมากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าวในกลุ่มเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิงจะมีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ

ผลการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็ง (Excess Lifetime Cancer Risk: ELCR) ผ่านเส้นทางการกลืนกินจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นพื้นจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย พบว่า ผลการประเมินการสัมผัสสารหนู มีค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่ยอมรับได้ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} ส่วนผลการประเมินการสัมผัสโครเมียม ในเด็กผู้ชาย เท่ากับ 4.02×10^{-4} และในเด็กผู้หญิง เท่ากับ 4.53×10^{-4} ซึ่งมีค่ามากกว่า 1×10^{-4} เป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้

5.1.6 การจัดการด้านความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของโลหะหนักจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ควรจะต้องมีการจัดการทั้งในเชิงนโยบายทั้งระดับประเทศ ระดับจังหวัด และระดับพื้นที่ ร่วมกับการสื่อสารความเสี่ยงด้านสุขภาพและการมีส่วนร่วมของประชาชนในพื้นที่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จัดการทั้งระยะสั้นและระยะกลางในรูปแบบของ

การจัดกิจกรรมผ่านเวทีสื่อสารสาธารณะเพื่อให้ประชาชนรับรู้ เข้าใจ และตระหนักถึงความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นสุขภาพของตนเอง สมาชิกในครอบครัว ชุมชน และความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการจัดการในระยะยาวเพื่อการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืนโดยรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะต้องเร่งกำหนดกฎหมายการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้ามือสอง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มือสอง และขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสารอันตรายปนเปื้อนและไม่สามารถจัดการรีไซเคิลได้อย่างปลอดภัยตามหลักวิชาการ ควบคู่กับการสร้างจิตสำนึกความรับผิดชอบต่อสังคมของผู้ผลิตและผู้จำหน่าย โดยนำหลักการ EPR ใช้เป็นแนวทางสำคัญในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

5.2.1.1 ผลจากการศึกษาพบความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าสูงทั้งในฝุ่นพื้นภายในบ้าน รวมทั้งในฝุ่นถนน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่บริเวณนอกอาณาบริเวณบ้านเรือนมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ด้วย ดังนั้นพื้นที่ควรจะต้องมีการเฝ้าระวังการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ร่วมด้วย

5.2.1.2 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนนมีการผันแปรตามฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ซึ่งสัมพันธ์กับความแรงและทิศทางลมในแต่ละฤดูกาล ดังนั้นในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว นอกจากการป้องกันด้านสุขวิทยาส่วนบุคคลแล้ว ควรจะต้องมีการป้องกันการฟุ้งกระจายของโลหะหนักในช่องทางต่างๆ ร่วมด้วย

5.2.1.3 การเฝ้าระวังและป้องกันการรับสัมผัสโลหะหนักในกลุ่มเด็กเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการรับสัมผัสผ่านทางรับประทานอาหารหรือพฤติกรรมการหยิบจับสิ่งของเข้าปาก เนื่องจากพบค่าความเสี่ยงสูงที่จะเกิดโรคทั้งความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งและปัญหาสุขภาพอื่นๆ นอกจากโรคมะเร็ง

5.2.1.4 การศึกษาโลหะหนักจากตัวอย่างฝุ่นถือเป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพผ่านช่องทางการกลืนกินได้เป็นอย่างดี สามารถใช้แทนการเก็บตัวอย่างจากตัวบุคคลได้

5.2.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ข้อค้นพบที่สำคัญจากผลการศึกษานี้ คือ ความผันแปรตามฤดูกาลมีผลต่อค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นพื้นและฝุ่นถนน รวมทั้งผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพโดยคำนวณค่าความเสี่ยงผ่านช่องทางการกลืนกิน พบว่า ผลรวมค่าความเสี่ยงแบบหลายสารผ่าน 1 ช่องทางการสัมผัสในกลุ่มเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิงจะมีภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพ และค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง พบว่า โครเมียมมีความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ในกลุ่มเด็กผู้ชายและเด็กผู้หญิง ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ กรมควบคุมโรค กระทรวง

สาธารณสุข กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ควรนำผล การศึกษาครั้งนี้พัฒนาเป็นนโยบายแต่ละระดับเพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนงานการป้องกันควบคุมความ เสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

5.2.2.1 การจัดการตั้งแต่ต้นน้ำ จากการสร้างเสริมด้านสุขวิทยาส่วนบุคคลใน การป้องกันความเสี่ยงต่อสุขภาพ รวมทั้งการป้องกันการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม การออกข้อบัญญัติ ท้องถิ่นเกี่ยวกับกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยเฉพาะกิจการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในระดับ ครุเรือน

5.2.2.2 การจัดการกลางน้ำโดยการควบคุมกำกับเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของ โลหะหนักในกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จนก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตนเอง การสวมรองเท้า การล้างมือล้างเท้าทุกครั้งหลังการสัมผัสขยะ อิเล็กทรอนิกส์หรือการเข้าพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และการจัดแบ่งโซนหรือกั้นพื้นที่เฉพาะ บริเวณที่ใช้เป็นจุดเก็บและคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดการฟุ้งกระจายและลดการปนเปื้อนที่ อาจเกิดจากลมและสภาพภูมิอากาศตามฤดูกาล

5.2.2.3 การจัดการที่ปลายน้ำ เป็นการเฝ้าระวังติดตามความเสี่ยงต่อสุขภาพทั้ง ในระยะสั้นคือการเฝ้าระวังโดยการตรวจสุขภาพในประเด็นที่เกี่ยวกับโรคหรืออาการที่เกิดขึ้นโดยตรง หรือเชื่อมโยงกับการได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านช่องทางต่างๆ ให้กับประชาชนในพื้นที่เสี่ยง พร้อมให้การบำบัดรักษาอย่างถูกวิธี และการเฝ้าระวังในระยะยาวโดยการเฝ้าติดตามและการเก็บ ข้อมูลการเกิดโรคมะเร็งหรือโรคเรื้อรังต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากการได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย

5.2.2.4 การแก้ปัญหาระยะสั้นและระยะกลาง จะต้องมีการสื่อสารความเสี่ยง ด้านสุขภาพและการมีส่วนร่วมของประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

- จัดเวทีสื่อสารความเสี่ยงและร่วมวางแผนการกำหนดมาตรการป้องกัน ความเสี่ยงต่อสุขภาพให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข กรม ควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อวาง แผนการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

- จัดกิจกรรมสื่อสารความเสี่ยงให้กับประชาชนกลุ่มเสี่ยงและประชาชน ทั่วไปอย่างทั่วถึง โดยใช้สื่อที่เข้าถึงง่ายและหลากหลาย เช่น สื่อสังคมออนไลน์ แผ่นพับ การจัด ประชุมเชิงปฏิบัติการ และการจัดกิจกรรมในชุมชน เป็นต้น

- ให้ความสำคัญกับมีส่วนร่วมของประชาชนที่ได้รับผลกระทบต่อความเสี่ยง โดยตรงในการจัดการความเสี่ยงต่อสุขภาพและความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมที่มีผลสืบเนื่องจากการ ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ สามารถทำได้ผ่านการจัดเวทีเสวนาในชุมชน การสำรวจ

ความคิดเห็น หรือการจัดตั้งคณะกรรมการ/คณะทำงานที่มีตัวแทนจากชุมชน รัฐบาล และองค์กรที่เกี่ยวข้อง

- ให้ความรู้และสร้างความตระหนักให้กับครอบครัวหรือชุมชนที่เกี่ยวข้องในระบบการดำเนินการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ทุกคนที่อยู่ในความเสี่ยงได้รับความรู้เกี่ยวกับความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดจากการสัมผัสโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู และโครเมียม ซึ่งเป็นสารที่มักพบในขยะอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งควรจัดหาอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม เช่น หน้ากาก ถุงมือ และเสื้อผ้าที่ป้องกันการสัมผัสสารอันตราย เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายต่อสุขภาพ และการสร้างความตระหนักเกี่ยวกับการป้องกันตนเองจากการฟุ้งกระจายและการสัมผัสโลหะหนัก ด้วยพฤติกรรมกล้างมือ ล้างเท้า การสวมรองเท้า การถอดแยกและทำความสะอาดเสื้อผ้าทำงาน และเสื้อผ้าปกติ

- กระทรวงสาธารณสุขควรมีการจัดทำโครงการตรวจสอบสุขภาพประจำปีให้กับสมาชิกในครัวเรือนที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารอันตราย โดยการตรวจสอบสุขภาพดังกล่าวควรครอบคลุมการตรวจระดับสารโลหะหนักในร่างกาย เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู โครเมียม หรือสารอันตรายอื่นๆ ที่มีความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่เพื่อประเมินความเสี่ยงและดำเนินการป้องกันหรือรักษาโรคที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสสารอันตรายประจำปี

5.2.2.5 การแก้ปัญหาระยะยาวแบบยั่งยืนจะต้องมีการควบคุมการนำเข้าและการจัดการเครื่องใช้ไฟฟ้ามือสอง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มือสอง และขยะอิเล็กทรอนิกส์

- เร่งกำหนดกฎหมายการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้ามือสอง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มือสอง และขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสารอันตรายปนเปื้อนและไม่สามารถจัดการรีไซเคิลได้อย่างปลอดภัยตามหลักวิชาการ โดยกำหนดเป็นมาตรการที่สำคัญระดับประเทศอ้างอิงมาตรการภายใต้ข้อตกลงระหว่างประเทศ เช่น Basel Convention มาใช้ในการควบคุมการนำเข้าและการเคลื่อนย้ายขยะอันตรายข้ามพรมแดน ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้

- สร้างจิตสำนึกความรับผิดชอบต่อสังคมของผู้ผลิตและผู้จำหน่าย (Extended Producer Responsibility - EPR) นำหลักการ EPR ใช้เป็นแนวทางสำคัญในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยกำหนดให้ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายต้องรับผิดชอบต่อจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตจนถึงการกำจัดหรือรีไซเคิล ผู้ผลิตควรจัดทำแผนการรับคืนสินค้าที่หมดอายุการใช้งานและจัดตั้งระบบการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อให้ขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการจัดการอย่างปลอดภัย ซึ่งหลักการดังกล่าวถูกนำไปใช้หลายประเทศ เช่น สหภาพยุโรป ซึ่งมี

กฎหมาย WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) ที่กำหนดให้ผู้ผลิตรับผิดชอบต่อการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์

- กำหนดมาตรฐานการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ให้ถูกต้องตามหลักวิชาการและมีความเข้มงวดในการดำเนินการทุกพื้นที่ เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการรีไซเคิลสามารถทำให้เกิดความปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน มาตรฐานควรครอบคลุมทุกกระบวนการของการรีไซเคิล เช่น การแยกชิ้นส่วน การจัดการสารเคมีอันตราย และการกำจัดเศษวัสดุที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ โดยนำแนวปฏิบัติจากประเทศที่มีมาตรฐานการรีไซเคิลสูง เช่น ประเทศญี่ปุ่น หรือประเทศเยอรมนี มาใช้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการรีไซเคิลของประเทศไทย

5.2.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

5.2.3.1 ควรมีการเก็บตัวอย่างชนิดอื่นๆ ทั้งที่ตัวบุคคลและในสิ่งแวดล้อมบริเวณบ้านและพื้นที่โดยรอบบริเวณที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ร่วมด้วย เพื่อเป็นการยืนยันผลที่จะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ

5.2.3.2 ควรมีการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบห่วงโซ่อาหารเพื่อเป็นการประเมินความเสี่ยงระบบสุขภาพที่ครอบคลุมทั้งระบบ

5.2.3.3 ควรมีการติดตามเฝ้าระวังโรคและภัยสุขภาพและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากความเสี่ยงที่เกิดจากการสัมผัสโลหะหนักในกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุก 1-5 ปี

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2566ก. รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2565.

กรุงเทพมหานคร: เอพี คอนเน็กส์ จำกัด.

กรมควบคุมมลพิษ. 2566ข. รายงานของเสียอันตรายจากชุมชน ปี พ.ศ. 2565. กระทรวง

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2565. รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2564.

กรุงเทพมหานคร: เอพี คอนเน็กส์ จำกัด.

กรมควบคุมมลพิษ. 2564. รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2563.

กรุงเทพมหานคร: สไตส์ครีเอทีฟแฮส จำกัด.

กรมควบคุมมลพิษ. 2563ก. รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2562.

กรุงเทพมหานคร: สไตส์ครีเอทีฟแฮส. [http://www.pcd.go.th/file/Thailand Pollution Report 2019_Thai.pdf](http://www.pcd.go.th/file/Thailand%20Pollution%20Report%202019_Thai.pdf) (สืบค้นเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2564).

กรมควบคุมมลพิษ. 2563ข. ร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและ

อิเล็กทรอนิกส์และซากผลิตภัณฑ์อื่น พ.ศ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2562ก. รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561.

กรุงเทพมหานคร: ส.มงคลการพิมพ์. [http://www.pcd.go.th/file/Thailand Pollution Report 2018_Thai.pdf](http://www.pcd.go.th/file/Thailand%20Pollution%20Report%202018_Thai.pdf) (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2562).

กรมควบคุมมลพิษ. 2562ข. ความร่วมมือว่าด้วยการจัดการซากแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ. กระทรวง

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_battery_pcd.htm. (สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2563).

กรมควบคุมมลพิษ. 2562ค. รายงานผลการตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการประกอบ

กิจการถอดแยกซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดกาฬสินธุ์.

กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2561ก. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2560. กรุงเทพมหานคร: วงศ์สว่างพัลลภซิ่ง แอนด์ พรีนติ้ง จำกัด. <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2562).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- กรมควบคุมมลพิษ. 2561ข. คู่มือการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2561ข. คู่มือการประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของมลพิษในดินหรือน้ำใต้ดิน. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2560. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2559. กรุงเทพมหานคร: ห้วยใหญ่ จำกัด. <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2562).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2559. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2558. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2562).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2558ก. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2557. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2562).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2558ข. ยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ ปี พ.ศ. 2557-2564. กรุงเทพมหานคร: ธนาเพลส จำกัด.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. หลักเกณฑ์และเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
<http://infofile.pcd.go.th/waste/topic15.pdf?CFID=19440059&CFTOKEN=14202960> (สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2562).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2555. โครงการพัฒนาแนวทางการประเมินปริมาณซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551ก. ขยะอันตรายระดับครัวเรือนและขยะอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551ข. ยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและขยะอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ. กรุงเทพมหานคร: อีซี จำกัด.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2550. คู่มือการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการเก็บรวบรวม ขนส่งและกำจัดของเสียอันตรายจากชุมชน. กรุงเทพมหานคร: อุษาการพิมพ์.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง ตะกั่ว. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- กรมควบคุมมลพิษ. 2541. *แคดเมียม*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อินทิเกรตเต็ด โปรโมชัน เทคโนโลยี จำกัด.
- กรมควบคุมโรค. 2560. *รายงานการสำรวจแหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์*. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. 2560. *ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย*. เล่ม 134 ตอนพิเศษ 198 ง ลงวันที่ 3 สิงหาคม 2560.
- กระทรวงมหาดไทย. 2520. *ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)*. เล่ม 94 ตอนที่ 64 ลงวันที่ 12 กรกฎาคม 2520.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2538. *ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป*. เล่ม 112 ตอนที่ 42 ง ลงวันที่ 25 พฤษภาคม 2538.
- ชมพูนุท พรหมภักดี. 2555. *แนวทางการรับมือปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย (The Ways to Cope with the Problem of Electronic Waste in Thailand)*. *สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา* 2 (9): 11–15.
- ดุชนี หมั่นห่อ, ปรัชญะพันธุ์ เพชรช่วย และ อรอนงค์ คงสวัสดิ์. 2559. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของช่างซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากการสัมผัสตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมในร้านซ่อมขนาดเล็ก เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. *การประชุมวิชาการระดับชาติ “นอร์ทเทิร์นวิจัย” ครั้งที่ 3 “วิจัยเพิ่มมูลค่า พัฒนาเศรษฐกิจ”*, 367–71.
- ปาริชาติ แจ่มเจริญ. 2557. *ขยะอิเล็กทรอนิกส์...ของเสียที่มาพร้อมกับเทคโนโลยี*. <https://sites.google.com/site/krubitoey/article/khyaxilekthrxnikskhxngseiythimaphrxmkabthekhnoloyi> (สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2563).
- ปิยฉัตร หนูคงบัตร, ดุชนี หมั่นห่อ, พิษญา พรหมทองสุข, วีระชัย สมัย และ ปรัชญะพันธุ์ เพชรช่วย. 2560. ระดับตะกั่วในปัสสาวะของช่างซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในจังหวัดสงขลา. *ประชุมวิชาการระดับชาติ “ขับเคลื่อนงานวิจัยโดยนวัตกรรมจากภูมิปัญญา”*, 55–64.
- พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. 2561. *การประเมินความเสี่ยงสุขภาพและการสร้างแบบจำลอง*. เชียงใหม่: ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- พรภิไล ถนอมสงัด, รัชชดา จันทร์ทรง, ลำไย ณีรัตนพันธุ์, สมบัติ อัมระภา และ บัณฑิตย์ เต็งเจริญกุล. 2561. การประเมินความเป็นพิษของโลหะหนักระดับเซลล์ในกบนา (*Hoplobatrachus Rugulosa*) บริเวณรอบพื้นที่ฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 26 (ฉบับที่ 1): 172-84.
- พระราชบัญญัติการส่งออกป็นอกและการนำเข้ามาในราชอาณาจักรซึ่งสินค้า (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2558. 2558. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 132 ตอนที่ 89 ก ลงวันที่ 15 กันยายน 2558.
- พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535. 2535. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 109 ตอนที่ 38 ลงวันที่ 5 เมษายน 2535 หน้า 27-52.
- พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ 8) พ.ศ. 2562. 2562. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 136 ตอนที่ 50 ก ลงวันที่ 2562.
- เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง, สุกรานต์ โรจนไพรวงศ์, วลัยพร มุขสุวรรณ และ สุภาวดี ประทุมชาติ. 2552. การศึกษาเชิงปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบและแสวงหาแนวทางการจัดการขยะอย่างมีส่วนร่วม: กรณีตำบลโคกสะอาด อำเภอหนองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์. มุลนิธิเอเชีย (ประเทศไทย). มุลนิธิหมอชาวบ้าน. 2552. สารานุกรมเลี้ยงลูก: เล่มที่ 1, สำนักพิมพ์หมอพื้นบ้าน: กรุงเทพมหานคร, โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านโนนสูง. 2558. ศึกษาแนวทางการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้ประกอบการค้าของเก่าและกลุ่มเสี่ยงให้ตระหนักในการดูแลสุขภาพ ศึกษาในหมู่บ้านต้นแบบบ้านโคกประสิทธิ์ หมู่ที่ 12 ตำบลโคกสะอาด อำเภอหนองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์.
- วิวัฒน์ เอกบูรณวัฒน์. 2562. พิษวิทยาอาชีพ. พิมพ์ครั้งที่ 5. ชลบุรี: สัมมาอาชีพะ.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004> (สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2563).
- วิวัฒน์ เอกบูรณวัฒน์ และ สุทธิพัฒน์ วงศ์วิทยวิโชติ. 2556. พิษวิทยาอาชีพ. พิมพ์ครั้งที่ 3. ชลบุรี: สัมมาอาชีพะ.
- สถาบันวิจัยประชากรและสังคม. 2567. สารประชากร มหาวิทยาลัยมหิดล. ปีที่ 33 มกราคม 2567. มหาวิทยาลัยมหิดล
- สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 2560. การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: ทีดีอาร์ไอ.
- สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. 2557. โครงการยกร่างกฎหมายการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และของเสียอันตรายจากชุมชน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม 2551. เทคโนโลยีการใช้เคิลซียะอีเล็กทรอนิกส์. สมาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.
- สภานิติบัญญัติแห่งชาติ. 2563. สารบบร่างรัฐธรรมนูญสภานิติบัญญัติแห่งชาติ. <http://web.senate.go.th/w3c/senate/pictures/sec/13/sp5/act.pdf> (สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2563).
- สภานิติบัญญัติแห่งชาติ. 2561. ร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. ประสานงานสภานิติบัญญัติแห่งชาติ, 27 สิงหาคม 2561.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2552. ผลกระทบของระเบียบว่าด้วยสารเคมีของสหภาพยุโรป (Reach) ต่ออุตสาหกรรมส่งออกไทย. กรุงเทพมหานคร: สร้างสื่อ จำกัด.
- สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2541. สารหนู (Arsenic). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อินทิเกรตเต็ด โปรโมชัน เทคโนโลยี จำกัด.
- สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. 2559. ชยะอีเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพมหานคร: สำนักการพิมพ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2566. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ปี 2565 และแนวโน้ม ปี 2566. กระทรวงอุตสาหกรรม. www.oie.go.th/view/1/ภาวะอุตสาหกรรมรายไตรมาสและรายปี/TH-TH/?page=1 (สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2566).
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2565. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ปี 2564 และแนวโน้ม ปี 2565. กระทรวงอุตสาหกรรม. www.oie.go.th/view/1/ภาวะอุตสาหกรรมรายไตรมาสและรายปี/TH-TH/?page=1 (สืบค้นเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2565).
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2564. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ปี 2563 และแนวโน้ม ปี 2564. กระทรวงอุตสาหกรรม. www.oie.go.th/view/1/ภาวะอุตสาหกรรมรายไตรมาสและรายปี/TH-TH/?page=2 (สืบค้นเมื่อวันที่ 24 กันยายน 2564).
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2563. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ปี 2562 และแนวโน้ม ปี 2563. กระทรวงอุตสาหกรรม. www.oie.go.th/view/1/ภาวะอุตสาหกรรมรายไตรมาสและรายปี/TH-TH/?page=2 (สืบค้นเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2563).
- สำนักสิ่งแวดล้อม. 2556. คู่มือการคัดแยกขยะอันตรายสำหรับเยาวชน. กรุงเทพมหานคร: สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สำนักสื่อสารความเสี่ยงและพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ. 2561. *คู่มือการสื่อสารความเสี่ยง โรคและภัยสุขภาพในภาวะวิกฤติ*. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์สื่อและสิ่งพิมพ์แก้วเจ้าจอม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- สุจิตรา วาสนาดำรงดี. 2558. *สถานการณ์ขยะอิเล็กทรอนิกส์*. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1–18.
- สุพิทธรดา เปล่งแสง. 2562. *กฎหมายจัดการซากขยะอิเล็กทรอนิกส์ : ทางแก้ปัญหายยะโลกยุคอนาคต*. กรุงเทพฯธุรกิจ, 22 กุมภาพันธ์ 2562.
<https://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/646640> (สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2562).
- อนามัย (ธีรวิโรจน์) เทศกระทีก. 2556. *การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2011. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry Case Studies in Environmental Medicine (CSEM) Cadmium Toxicity*. USA.: ATSDR. Available at <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/csem.asp?csem=6&po=7> (accessed 28 October 2019).
- Akhter, M. S. and Madany, I. M. 1993. Heavy Metals in Street and House Dust in Bahrain. *Water, Air & Soil Pollution*, 66: 111-19.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). 2019. *The 2019 TLV® and BEI® Book and Documentation of the Threshold Limit Values on Chemical Substances*. 7th ed. Available at https://www.acgih.org/search?query=The 2019 TLV® and BEI® Book and Documentation of the Threshold Limit Values on Chemical Substances%2C 7th Edition (accessed May 17, 2020).
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 2013. *AOAC Guidelines for Single-Laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals*. AOAC Official Methods of Analysis.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Babu, B. R., Parande, A. K. and Basha, C. A. 2007. Electrical and Electronic Waste: a Global Environmental Problem. *Waste Management and Research*, 25: 307-18.
- Balde, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R. and Stegmann, P. 2017. *The Global E-Waste Monitor 2017*. United Nations University. Available at www.unu.edu (accessed 1 September 2019).
- Balde, C. P., Kuehr, R., Blumenthal, K., Gill, S. F., Kern, M., Micheli, M., Magpantay, E. and Huisman, J. 2015. *E-Waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators*. United Nations University, IAS-SCYCLE.
- Banerjee, A. D. K. 2003. Heavy Metal Levels and Solid Phase Speciation in Street Dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution*, 123: 95-105.
- Boss, C. B. and Fredeen K. J. 2004. *Concepts, Instrumentation and Techniques in ICP-OES*. PerkinElmer. Available at http://www.perkinelmer.co.uk/CMSResources/Images/44-159043GDE_Concepts-of-ICP-OES-Booklet.pdf (accessed September 28, 2019).
- Brigden, K., Labunska, I., Santillo, D. and Allsopp, M. 2005. *Recycling of Electronic Wastes in China and India: Workplace and Environmental Contamination*. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 09/2005 (Section 1); Exeter, UK; August 2005.
- CalEPA (California Environmental Protection Agency). 2020. *Lead and Lead Compounds*. Available at <https://oehha.ca.gov/chemicals/lead-and-lead-compounds> (accessed June 1, 2020).
- CalEPA. 2011a. *Public Health Goal for Hexavalent Chromium (Cr VI) in Drinking Water*. Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA). Available at <https://oehha.ca.gov/media/downloads/water/chemicals/phg/cr6phg072911.pdf> (accessed June 18, 2020).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- CalEPA. 2011b. *A Guide to Health Risk Assessment*. Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA). Available at <https://oehha.ca.gov/media/downloads/risk-assessment/document/hrsguide2001.pdf> (accessed September 9, 2019).
- Chaudhary, K. and Vrat, P. 2018. Case Study Analysis of E-waste Management Systems in Germany, Switzerland, Japan and India: A RADAR Chart Approach. *Benchmarking* 25 (9): 3519–40.
- Chu, H., Liu, Y., Xu, N. *et al.* 2023. Concentration, sources, influencing factors and hazards of heavy metals in indoor and outdoor dust: A review. *Environ Chem Lett* 21, 1203–1230 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01546-2>
- Das S., Raj R., Mangwani N., Dash H.R. and Chakraborty J. 2014. Heavy Metals and Hydrocarbons: Adverse Effects and Mechanism of Toxicity. *Microbial Biodegradation and Bioremediation* 2014, 23-54.
- Deng, W. J., Louie, P. K. K., Liu, W. K., Bi, X. H., Fu, J. M. and 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: 6945-55.
- EU (European Union). 2017. Directive (EU) 2017/2102 of the European Parliament and of the Council of 15 November 2017 Amending Directive 2011/65/EU on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment. *Official Journal of the European Union* L 305 (October): 8–11. Available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017L2102&from=EN> (accessed January 28, 2020).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- EU. 2011. Directive 2011/65/EU of European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment. *Official Journal of the European Union*, 88–110. Available at <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:EN:PDF> (accessed January 21, 2020).
- EU. 2003a. Directive 2002/96/EC of the european parliament and of the council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). *Official Journal of the European Union* 10 (5): 239–41. Available at [https://doi.org/10.1016/S1578-1550\(11\)70052-3](https://doi.org/10.1016/S1578-1550(11)70052-3) (accessed January 13, 2020).
- EU. 2003b. Directive 2003/108/EC of the european parliament and of the council of 8 December 2003. *Official Journal of the European Union* 46 (31 December): 106–7. Available at <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:345:0106:0107:EN:PDF> (accessed January 13, 2020).
- Foroughi, M., Najafi, P. and Toghiani, S. 2011. Trace Elements Removal from Waster Water by *Ceratophyllum Demersum*. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 15(1): 197-201.
- Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R. and Bel, G. 2020. *The Global E-Waste Monitor 2020*. United Nations University. Available at www.unu.edu (accessed 1 May 2021).
- Gil, F., Hernandez, A. F., Marquez, C., Femia, P., Olmedo, P., Lopez-Guarnido, O. and Pla, A. 2011. Biomonitorization of Cadmium, Chromium, Manganese, Nickel and Lead in Whole Blood, Urine, Axillary Hair and Saliva in an Occupationally Exposed Population. *Science of the Total Environment*, 409: 1172-80.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- He, C. T., Zheng, X. B., Yan, X., Zheng, J., Wang, M. H., Tan, X., Qiao, L., Chen, S. J., Yang, Z. Y. and Mai, B. X. 2017. Organic Contaminants and Heavy Metals in Indoor Dust from E-Waste Recycling, Rural, and Urban Areas in South China: Spatial Characteristics and Implications for Human Exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 140 (February): 109–15.
- Hinwood, A. L., Callan, A. C., Ramalingam, M., Boyce, M., Heyworth, J., McCafferty, P. and Odland, J.Ø. 2013. Cadmium, Lead and Mercury Exposure in Non Smoking Pregnant Women. *Environmental Research*, 126: 118-24.
- Huang, C. L., Bao, L. J., Luo, P., Wang, Z. Y., Li, S. M. and Zeng, E. Y. 2016. Potential Health Risk for Residents around a Typical E-Waste Recycling Zone via Inhalation of Size-Fractionated Particle-Bound Heavy Metals. *Journal of Hazardous Materials* 317: 449–56.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 2020. *List of Classifications – IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans*. Available at <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications/> (accessed February 4, 2020).
- Jabeen, N., Ahmed, S., Hassan, S. T. and Alam, N. M. 2001. Levels and Sources of Heavy Metals in House Dust. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 247(1): 145-49.
- Jones-Otazo, H., Clarke, J. P., Diamond, M. L., Archbold, J. A., Ferguson, G., Harner, T., Richardson, G. M., Ryan, J.J. and Wilford, B. 2005. Is house dust the missing exposure pathway for PBDEs? An analysis of the urban fate and human exposure to PBDEs. *Environmental Science and Technology*, 39: 5121-30.
- Kelly, J., Thornton, I. and Simpson P. R. 1996. Urban Geochemistry: A Study of the Influence of Anthropogenic Activity on the Heavy Metal Content of Soils in Traditionally Industrial and Non-Industrial Areas of Britain. In *Applied Geochemistry*, 11:363–70.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Kiddee, P., and Decharat, S. 2018. Risk Assessment of Lead and Cadmium Exposure from Electronic Waste Recycling Facilities in Southern Thailand. *Environmental Earth Sciences* 77 (12): 1–7.
- Lanphear, B. P. and Roghmann, K. J. 1997. Pathways of Lead Exposure in Urban Children. *Environmental Research*, 74: 67-73.
- Latimer G. W., Jr., ed. 2016. *AOAC Official Method 990.08 Metals in Solid Wastes*. 20th Edition. Association of Official Analytical Chemists: AOAC.
- Leung, A. O.W., Duzgoren-Aydin N. S., Cheung K. C. and Wong M. H.. 2008. Heavy Metals Concentrations of Surface Dust from E-waste Recycling and Its Human Health Implications in Southeast China. *Environmental Science and Technology* 42 (7): 2674–80.
- Li, X., Poon, C. S. and Liu, P. S. 2001. Heavy Metal Contamination of Urban Soils and Street Dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 16: 1361-68.
- Li, X., and Thornton. L. 1993. Multi-element Contamination of Soils and Plants in Old Mining Areas. *Applied Geochemistry* 8 (January): 51–56.
- Miretzky, P. Saralegui, A. Fernandez, Cirelli A. 2004. Aquatic Macrophytes Potential for the Simultaneous Removal of Heavy Metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, 57: 997-1005.
- Muenhor, D. and Harrad, S. 2018. Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Car and House Dust from Thailand: Implication for Human Exposure. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 53(7): 629-42.
- Muenhor, D., Moon, H. B., Lee, S. and Goosey, E. 2018. Organophosphorus Flame Retardants (PFRs) and Phthalates in Floor and Road Dust from a Manual E-waste Dismantling Facility and Adjacent Communities in Thailand. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 53 (1): 79–90.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Muenhor, D., Moon, H.-B., Lee, S. and Goosey, E. 2017. Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Floor and Road Dust from a Manual E-waste Dismantling Facility and Adjacent Communities in Thailand. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 52(14): 1284-94.
- Muenhor, D. 2011. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in indoor and outdoor environments, July 2011. Doctoral Thesis, Division of Environmental Health and Risk Management, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Birmingham University, Birmingham, The United Kingdom.
- Muenhor, D., Harrad, S., Ali, N. and Covaci, A. 2010. Brominated Flame Retardants (BFRs) in Air and Dust from Electronic Waste Storage Facilities in Thailand. *Environment International* 36 (7): 690–98.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). 2019. *NIOSH POCKET GUIDE TO CHEMICAL HAZARDS*. 1993 IEEE International Conference on Neural Networks, no. 2005. Available at <https://www.cdc.gov/niosh/npg/> (accessed February, 2020)
- Neeratanaphan, L., Khamma, S., Benchawattananon, R., Ruchuwarak, P., Appamaraka, S. and Intamat, S. 2017. Heavy Metal Accumulation in Rice (*Oryza Sativa*) near Electronic Waste Dumps and Related Human Health Risk Assessment. *Human and Ecological Risk Assessment* 23 (5): 1086–98.
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration). 2019. *OSHA Annotated PELs/ Occupational Safety and Health Administration*. Available at <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html> (accessed February 4, 2020).
- Oguri, T., Suzuki, G., Matsukami, H., Uchida, N., Tue, N. M., Tuyen, L. H., Viet, P. H., Takahashi, S., Tanabe, S. and Takigami, H. 2018. Exposure Assessment of Heavy Metals in an E-Waste Processing Area in Northern Vietnam. *Science of the Total Environment* 621: 1115–23.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ohajinwa, C. M., van Bodegom, P. M., Vijver, M. G. and Peijnenburg, W. J. G. M. 2018. Impact of Informal Electronic Waste Recycling on Metal Concentrations in Soils and Dusts. *Environmental Research* 164 (March): 385–94.
- Patil, R. A. and Ramakrishna, S. 2020. A Comprehensive Analysis of E-Waste Legislation Worldwide. *Environmental Science and Pollution Research* 27 (13): 14412–31.
- Perihan, B.K.K. 2012. Determination of Heavy Metals in Indoor Dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the Health Risk. *Environment International*. 50: 47–55.
- Rawat, M., Ramanathan, A. L. and Subramanian, V. 2009. Quantification and Distribution of Heavy Metals from Small-scale Industrial Areas of Kanpur City, India. *Journal of Hazardous Materials*, 172: 1145-49.
- Robinson, B. H. 2009. E-Waste: An Assessment of Global Production and Environmental Impacts. *Science of The Total Environment* 408 (2): 183–91.
- Shi T., and Wang Y. 2021. Heavy metals in indoor dust: Spatial distribution, influencing factors, and potential health risks. *Science of The Total Environment*, 755: P1, 14237. . Available at <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142367>. (accessed February 20, 2024).
- Singh, M., Thind, P. S. and 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: 426–33.
- Somsunun, K., Prapamontol, T., Kuanpan, T., Santijitpakdee, T., Kohsuwan, K., Jeytawan, N., & Thongjan, N. 2023. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Indoor Household Dust in Urban and Rural Areas of Chiang Mai and Lamphun Provinces, Thailand. *Toxics* 2023, 11, 1018. <https://doi.org/10.3390/toxics11121018>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Song, D., Zhuang D., Jiang, D., Fu, J. and Wang Q. 2015. Integrated Health Risk Assessment of Heavy Metals in Suxian County, South China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12: 7100–17.
- Tong, S. T. Y. and Lam, K. C. 2000. Home Sweet Home? A Case Study of Household Dust Contamination in Hong Kong. *The Science of the Total Environment*, 256: 115-23.
- Tong, S. T. Y. and Lam, K. C. 1998. Are Nursery Schools and Kindergartens Safe for Our Kids? The Hong Kong Study. *The Science of the Total Environment*, 216: 217-25.
- Townsend, T. G. 2011. Environmental Issues and Management Strategies for Waste Electronic and Electrical Equipment. *Journal of the Air and Waste Management Association* 61 (6): 587–610.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2019a. *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal*. Yearbook of International Cooperation on Environment and Development 1998–99. Available at <https://doi.org/10.4324/9781315066547-15> (accessed January 16, 2020).
- UNEP. 2019b. *Handbook for the Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer*. 13thed. Ozone Secretariat. Available at https://ozone.unep.org/sites/default/files/MP_handbook-english-2018.pdf (accessed February 15, 2020).
- UNEP. 2017. *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal*. Multilateral Environmental Treaties. Available at <https://doi.org/10.4337/9781783477210.v.32> (accessed January 16, 2020).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- US EPA. (United States Environmental Protection Agency). 2020. *Integrated Risk Information System (IRIS)*. Available at <https://www.epa.gov/iris> (accessed November 22, 2019).
- US EPA. 2019a. *Human Health Risk Assessment*. Available at <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment> (accessed October 18, 2019).
- US EPA. 2019b. *Guideline for Human Exposure Assessment*. Available at https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-01/documents/guidelines_for_human_exposure_assessment_final2019.pdf (accessed November 4, 2019).
- US EPA. 2016. *Review of the National Ambient Air Quality Standards for Lead*. Federal Register 81 (201): 71906–71943. Available at <https://www.epa.gov/naaqs/lead-pb-air-quality-standards> (accessed December 5, 2019).
- US EPA. 2007. *Risk Communication in Action: The Risk Communication Workbook*. USA: Office of Research and Development.
- US EPA. 2000. *Science Policy Council Handbook: Risk Characterization*. Available at https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/osp_risk_characterization_handbook_2000.pdf (accessed November 11, 2019)
- US EPA. 1995. *Sampling House Dust for Lead Basic Concepts and Literature Review*. Available at <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/r95-007.pdf> (accessed February 2, 2020).
- US EPA. 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Available at <https://doi.org/EPA/540/1-89/002> (accessed February 4, 2020).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Wang, H., Han, M., Yang, S., Chen, Y., Liu, Q. and Ke, S. 2011. Urinary Heavy Metal Levels and Relevant Factors Among People Exposed to E-waste Dismantling. *Environment International*, 37: 80-85.
- Wang M., Lv Y., Lv X., Wang Q., Li Y., Lu P., Yu H., Wei P., & Cao Z. T. 2023. An Distribution, sources and health risks of heavy metals in indoor dust across China. *Chemosphere*, 313: 137595. Available at <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137595> (accessed February 20, 2024).
- Wang, X., Miller, G., Ding, G., Lou, X., Cai, D., Chen, Z., Meng, J., et al. 2012. Health Risk Assessment of Lead for Children in Tinfoil Manufacturing and E-Waste Recycling Areas of Zhejiang Province, China. *Science of the Total Environment* 426: 106–12.
- Worksafe New Zealand. 2019. *Workplace Exposure Standards and Biological Exposure Indices*. 11th ed. New Zeland. Available at <https://worksafe.govt.nz/topic-and-industry/work-related-health/monitoring/exposure-standards-and-biological-exposure-indices/> (accessed December 12, 2020).
- WHO (World Health Organization). 2013. *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Cadmium*. Available at <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1376> (accessed February 5, 2020).
- WHO. 2011. *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Arsenic*. Available at <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1863> (accessed February 5, 2020).
- World Health Organization (WHO) Regional Office for South-East Asia. 2007. Country Health System Profile, Thailand-Trends in socio-economic development; WHO.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- WHO. 1999. *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Lead*. Available at <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=3511> (accessed December 15, 2019).
- WHO. 1982. *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Copper*. Available at <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=2824> (accessed February 6, 2020).
- Yang, Y., Xue, M., Xu, Z. and Huang, C. 2013. Health Risk Assessment of Heavy Metals (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) in Circumjacent Soil of a Factory for Recycling Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 15 (4): 556–63.
- Zhang, Q., Ye, J., Chen, J., Xu, H., Wang, C. and Zhao, M. 2014. Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls and Heavy Metals in Soils of an Abandoned E-Waste Site in China. *Environmental Pollution* 185: 258–65.
- Zheng, X., Xu, X., Yekeen, T. A., Zhang, Y., Chen, A., Kim, S. S., Dietrich, K. N., et al. 2016. Ambient Air Heavy Metals in PM 2.5 and Potential Human Health Risk Assessment in an Informal Electronic-Waste Recycling Site of China. *Aerosol and Air Quality Research* 16 (2): 388–97.
- Zubero, M. B., Aurrekoetxea, J. J., Ibarluzea, J. M., Arenaza, M. J., Rodriguez, C. and Saenz, J. R. 2010. Heavy Metals Levels (Pb, Cd, Cr and Hg) in the Adult General Population Near an Urban Solid Waste Incinerator. *Science of the Total Environment*, 408: 4468–74.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามที่ 1: การเก็บตัวอย่างฝุ่นพื้น

รหัสตัวอย่าง.....

ยี่ห้อเครื่องดูดฝุ่น และรุ่นของเครื่องดูดฝุ่น.....

ที่อยู่สถานที่เก็บตัวอย่าง บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด.....

ประเภทของสิ่งแวดล้อม (.....) สำนักงาน (.....) บ้าน (.....) อื่น ๆ

สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่น (.....) ห้องนอน (.....) ห้องนั่งเล่น (.....) ถนนหน้าบ้าน (.....) อื่น ๆ

วันที่เก็บตัวอย่าง.....

วันที่ทำความสะอาดครั้งสุดท้าย.....

(เก็บตัวอย่างหลังจากวันทำความสะอาดพื้นห้องล่าสุดอย่างน้อย 2 วัน)

รายละเอียดของห้องที่เก็บตัวอย่างฝุ่น

1. การระบายอากาศภายในห้อง (.....) ลมธรรมชาติ (.....) เครื่องปรับอากาศ (.....) พัดลม

2. มีพรมปูพื้นหรือไม่ (.....) มี (.....) ไม่มี

3. ฝาผนังมีการทาสีหรือไม่ (.....) ไม่มี (.....) มี สีอะไร.....

สภาพของสีทางผนังห้อง.....

4. อายุของตัวอาคาร.....ปี

5. ความหนาแน่นของการจราจรภายนอกอาคาร (.....) สูง (.....) ปานกลาง (.....) ต่ำ

6. ความถี่ในการทำความสะอาดพื้นห้อง.....ครั้ง/สัปดาห์.....ครั้ง/เดือน

7. จำนวนคอมพิวเตอร์.....เครื่อง อายุการใช้งาน.....ปี

8. จำนวนตู้เย็น.....เครื่อง อายุการใช้งาน.....ปี

9. จำนวนโทรทัศน์.....เครื่อง อายุการใช้งาน.....ปี

10. จำนวนโทรศัพท์.....เครื่อง อายุการใช้งาน.....ปี

11. จำนวนเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เช่น ปรีนเตอร์ ไมโครเวฟ เครื่องเล่นดีวีดี ซีดี สเตอริโอ เป็นต้น
พร้อมบอกอายุการใช้งาน.....

12. จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ใกล้กับอาคารที่เก็บตัวอย่าง พร้อมระบุชนิดของโรงงานด้วย

13. กิจการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ของบ้านหลังนี้ดำเนินการมานานกี่ปี.....ปี

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามที่ 2: สุขศาสตร์ส่วนบุคคล

วันที่.....เดือน.....ปี..... (สำหรับการสัมภาษณ์)

คำชี้แจง: แบบสอบถามมี 4 ตอน กรุณาทำเครื่องหมายถูก (/) หน้าข้อความที่ตรงประเด็นมากที่สุด

ตอนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์

1. อายุ (ถึงปัจจุบัน).....ปี.....เดือน (วัน เดือน ปี เกิด.....)
2. ส่วนสูง.....เซนติเมตร
3. น้ำหนัก.....กิโลกรัม
4. เพศ 4.1 (.....) ชาย 4.2 (.....) หญิง
5. สัญชาติ.....
6. ศาสนา 6.1 (.....) พุทธ 6.2 (.....) อิสลาม 6.3 (.....) คริสต์ 6.4 (.....) อื่น ๆ ระบุ.....
7. การศึกษา 7.1 (.....) ประถมศึกษา 7.2 (.....) มัธยมศึกษาตอนต้น 7.3 (.....) มัธยมศึกษาปลาย/ปวช.
7.4 (.....) ปวส. 7.5 (.....) ปริญญาตรี 7.6 (.....) สูงกว่าปริญญาตรี
7.7 (.....) ไม่ได้ศึกษา 7.8 (.....) อื่นๆ ระบุ.....
8. สถานภาพ 8.1 (.....) โสด 8.2 (.....) สมรส 8.3 (.....) หม้าย/หย่า/แยก
9. อาชีพในปัจจุบัน 9.1 (.....) คัดแยกชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 9.2 (.....) เกษตรกรรม
9.3 (.....) ประมง 9.4 (.....) รับจ้าง
9.5 (.....) ไม่ได้ประกอบอาชีพ 9.6 (.....) อื่น ๆ ระบุ.....
10. คุณเคยทำงานในโรงงานแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์หรือไม่
10.1 (.....) ไม่เคยทำ 10.2 (.....) เคยทำ ระยะเวลา.....ปี.....เดือน
11. บ้านหลังนี้มีเด็กอาศัยหรือไม่ 11.1 (.....) ไม่มี 11.2 (.....) มี ระยะเวลาที่อาศัย.....ปี
12. ผู้ที่อยู่อาศัยในบ้านหลังนี้
12.1 (.....) มี หญิงตั้งครรภ์ จำนวน.....คน ทารก (อายุ แรกเกิด – 6 เดือน) จำนวน.....คน
เด็ก (อายุ 6 เดือน–5 ปี) จำนวน.....คน เด็กวัยเรียน (อายุ 6 – 12 ปี) จำนวน.....คน
วัยแรงงาน (15-59 ปี) จำนวน.....คน ผู้สูงวัย (อายุ 60 ปีขึ้นไป) จำนวน.....คน
12.2 (.....) ไม่มี
13. คุณทำงานแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์เฉลี่ย.....ชั่วโมง/วัน
14. คุณทำงานแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์เฉลี่ย.....วัน/สัปดาห์ หรือวัน/ปี
15. คุณมีโรคประจำตัวหรือไม่ 15.1 (.....) มี ระบุ..... 15.2 (.....) ไม่มี
16. การตรวจสุขภาพประจำปี 16.1 (.....) มี ระบุ..... 16.2 (.....) ไม่มี

27. คุณสูบบุหรี่หรือไม่

27.1 (.....) ไม่สูบ

27.2 (.....) เคยสูบ เป็นระยะเวลา.....ปี แต่ปัจจุบันเลิกสูบแล้วเป็นระยะเวลา.....ปี

27.3 (.....) สูบจนถึงปัจจุบัน จำนวน.....มวน/วัน สูบมาเป็นระยะเวลานานปี...เดือน

28. คุณดื่มแอลกอฮอล์หรือไม่

28.1 (.....) ไม่ดื่ม

28.2 (.....) เคยดื่ม เป็นระยะเวลา.....ปี แต่ปัจจุบันเลิกดื่มแล้วเป็นระยะเวลา.....ปี

28.3 (.....) ดื่มจนถึงปัจจุบัน ดื่มมาเป็นระยะเวลานาน.....ปี.....เดือน

29. ปกติคุณสวมรองเท้าขณะปฏิบัติงานหรือไม่

29.1 (.....) ประจำ

29.2 (.....) บางครั้ง

29.3 (.....) ไม่เคย

29.4 (.....) อื่นๆ ระบุ.....

30. คุณใช้เครื่องสำอางหรือไม่ (ถ้าไม่ ข้ามไปทำข้อ 33)

30.1 (.....) ไม่ใช้

30.2 (.....) เคยใช้ ระบุชนิดเครื่องสำอาง.....เป็นระยะเวลา.....ปี แต่
ปัจจุบันเลิกใช้แล้วเป็นเวลา.....ปี.....เดือน

30.3 (.....) ปัจจุบันยังใช้อยู่ ระบุชนิดเครื่องสำอาง.....

31. คุณใช้เครื่องสำอางบ่อยแค่ไหน

31.1 (.....) บางเวลา ใช้เครื่องสำอางมาเป็นระยะเวลานาน.....ปี.....เดือน

ระบุชนิดเครื่องสำอาง:.....

31.2 (.....) ประจำ คุณใช้เครื่องสำอางมาเป็นระยะเวลานาน.....ปี.....เดือน

ระบุชนิดเครื่องสำอาง:.....

32. คุณย้อมผม/ทำสีผมหรือไม่ (ถ้าไม่ ข้ามไปทำข้อ 35)

32.1 (.....) ไม่เคย

32.2 (.....) เคยทำ ระบุชนิดของการย้อม.....เป็นระยะเวลา.....ปี เลิก
มาแล้วเป็นเวลา.....ปี.....เดือน

32.3 (.....) ปัจจุบันยังใช้อยู่ ระบุชนิดเครื่องสำอาง.....

33. คุณย้อมผม/ทำสีผมบ่อยแค่ไหน

33.1 (.....) บางเวลา ย้อมผม/ทำสีผมมาเป็นระยะเวลานาน.....ปี.....เดือน

ระบุชนิดการย้อม:.....

33.2 (.....) ประจำ ย้อมผม/ทำสีผมมาเป็นระยะเวลานาน.....ปี.....เดือน

ระบุชนิดการย้อม:.....

ส่วนที่ 3: การสังเกตพฤติกรรม

34. พฤติกรรมก่อนการรับประทานอาหาร

34.1 (.....) ทำความสะอาดมือ

34.2 (.....) ไม่ได้ทำความสะอาดมือ

34.3 (.....) ไม่ได้สังเกต

35. พฤติกรรมการรับประทานอาหาร

35.1 (.....) ใช้ช้อน

35.2 (.....) ใช้มือ

35.3 (.....) ไม่ได้สังเกต

36. พฤติกรรมการสวมรองเท้า

36.1 (.....) สวม

36.2 (.....) ไม่สวม

36.3 (.....) ไม่ได้สังเกต

37. พฤติกรรมการสูบบุหรี่

37.1 (.....) สูบ

37.2 (.....) ไม่สูบ

37.3 (.....) ไม่ได้สังเกต

38. พฤติกรรมการดื่มแอลกอฮอล์

39.1 (.....) ดื่ม

39.2 (.....) ไม่ดื่ม

39.3 (.....) ไม่ได้สังเกต

39. สภาพสุขภาพของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

ข้อสังเกต	สะอาด	ไม่สะอาด
39.1 เส้นผม		
39.2 หน้าและผิวหนัง		
39.3 เล็บมือ		
39.4 เล็บเท้า		
39.5 เสื้อผ้า		
39.6 รองเท้า		
39.7 อื่นๆ ระบุ.....		

40. การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

.....

41. กิจกรรมของช่างคัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ในวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง

.....

42. คุณมีการอุดฟันด้วย Amalgam หรือไม่ ระบุจำนวนซี่

.....

43. พฤติกรรมอื่นๆ

.....

ส่วนที่ 4: การจัดการสภาพแวดล้อมในสถานประกอบการ

44. จัดการเศษเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ตกหล่นบนพื้นในสถานประกอบการอย่างไร

44.1 (.....) กวาดทิ้งหน้าร้าน

44.2 (.....) กวาดรวบรวมไว้รอกำจัด

44.3 (.....) อื่นๆ ระบุ.....

45. การกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์และเศษอุปกรณ์ที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้วของสถานประกอบการ

45.1 (.....) เผา

45.2 (.....) ฝัง

45.3 (.....) ทิ้งในถังขยะ อบต.

45.4 (.....) นำไปทิ้ง/ทำลายที่กองขยะ อบต.

45.5 (.....) อื่นๆ ระบุ.....

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายยุทธนา หอมเกต
รหัสประจำตัวนักศึกษา 6010930027

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการระบบสุขภาพ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2561
ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การสร้างเสริมสุขภาพ)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2554
ปริญญาสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549
ปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรมนุษย์)	มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช	2547

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ในหัวข้อการแก้ไขปัญหามลพิษ
- ทุนสนับสนุนการวิจัยวิทยานิพนธ์เพื่อพัฒนาการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2566

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการพิเศษ หัวหน้ากลุ่มงานอนามัยสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย
สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครศรีธรรมราช

ประวัติผู้เขียน