

การกระจายตัวของโลหะหนักและสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
บนฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์

DISTRIBUTION OF HEAVY METALS AND POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBONS BOUND ON SIZE-CLASSIFIED PARTICLES FROM
RECYCLING ELECTRONIC WASTE PROCESSES

ธิดารัตน์ แก้วทนต์
THIDARAT KEAWHANU

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาดำเนินการ
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-SC-M-016-059

การกระจายตัวของโลหะหนักและสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
บนฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์

DISTRIBUTION OF HEAVY METALS AND POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBONS BOUND ON SIZE-CLASSIFIED PARTICLES FROM
RECYCLING ELECTRONIC WASTE PROCESSES

ธิดารัตน์ แก้วหนู
THIDARAT KEAWHANU

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-SC-M-016-059

DISTRIBUTION OF HEAVY METALS AND POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBONS BOUND ON SIZE-CLASSIFIED PARTICLES FROM
RECYCLING ELECTRONIC WASTE PROCESSES

THIDARAT KEAWHANU

A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-SC-M-016-059

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกระจายตัวของโลหะหนักและสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อนักศึกษา	ธิดารัตน์ แก้วหลอ
รหัสประจำตัว	57605042
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. อัจฉริยา สุริยะวงค์

บทคัดย่อ

การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการของร้านคัดแยกของเก่า ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของอนุภาคฝุ่นละออง โลหะหนัก และสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในบรรยากาศ ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ศึกษาความเข้มข้น และการกระจายอนุภาคฝุ่นละออง โลหะหนัก และ PAHs ที่จับบนอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ 3 กระบวนการ ได้แก่ การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8-stage cascade impactor) ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที ในระดับการหายใจของผู้ปฏิบัติงาน โดยใช้กระดาศกรองควอทซ์ แยกฝุ่นละอองเป็น 9 ช่วงขนาด ได้แก่ 10.0-9.0, 9.0-5.8, 5.8-4.7, 4.7-3.3, 3.3-2.1, 2.1-1.1, 1.1-0.65, 0.65-0.43 และ <0.43 ไมโครเมตร วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละออง (Fe, Cr, Zn, Pb, Cu และ Mn) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิเคราะห์ความเข้มข้นของ 16 PAHs โดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าทั้งการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง จะมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ มากกว่าวันที่ไม่มีกิจกรรมการคัดแยกอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟและการตัดโลหะด้วยความร้อนมีค่ามากกว่าการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือในทุกขนาดของอนุภาค การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 กิจกรรม พบการกระจายตัวของฝุ่นละอองแบบ Bimodal distribution โดยการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ และการเผาสายไฟในที่โล่งมีพีคหลักอยู่ในช่วง Coarse mode ส่วนการตัดโลหะด้วยความร้อนมีพีคหลักอยู่ในช่วง Accumulation mode ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในแต่ละกิจกรรม พบว่าการเผาสายไฟในที่โล่งทำให้เกิดการจับตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียดมากกว่ากิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ และกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน ผลการศึกษาพบว่าการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 กิจกรรม มีความ

เข้มข้นของ Fe สูงที่สุด โดยการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือมีความเข้มข้น Fe สูงสุด รองลงมาคือ Pb, Cr, Zn และ Cu ตามลำดับ การตัดโลหะด้วยความร้อนมีความเข้มข้นโลหะหนักสูงสุดคือ Fe รองลงมาคือ Zn, Pb, Cr, Mn และ Cu ตามลำดับ ในขณะที่การเผาสายไฟในที่โล่งมีความเข้มข้นโลหะหนักสูงสุดคือ Fe รองลงมาคือ Cr, Pb, Zn, Mn และ Cu ตามลำดับ ผลการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs จากการตัดโลหะด้วยความร้อนและการเผาสายไฟ พบว่าการตัดโลหะด้วยความร้อน มีความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองหยาบสูงที่สุด รองลงมาคือฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก ตามลำดับ ในขณะที่การเผาสายไฟพบ PAHs ในฝุ่นละอองละเอียดสูงที่สุด รองลงมาคือฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียดมาก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วน PAHs ในฝุ่นละอองทั้งหมด พบว่า PAHs 5 วงอะโรมาติกมีสัดส่วนสูงที่สุดจากทั้งสองกิจกรรม คือ 59.63% และ 55.67% ตามลำดับ ความเสี่ยงในการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองผ่านทางหายใจ พบว่าการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในการสัมผัส Cr บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง ขณะที่การสัมผัส Pb บนอนุภาคฝุ่นละอองละเอียดมาก ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองหยาบ มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง ยกเว้นผู้ปฏิบัติงานเพศหญิงที่สัมผัส Pb ในฝุ่นละอองหยาบ ที่พบว่ามีความเสี่ยงสูงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ > 10$) กิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่งพบว่า ผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัส Cr และ Pb บนอนุภาคฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองหยาบ มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง และผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ นอกจากนี้พบว่า ความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิตจากการสัมผัสสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ มีค่าเท่ากับ $1.169E-01$ และ $8.825E-02$ ตามลำดับ

คำสำคัญ : การรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ การกระจายขนาดฝุ่นละออง โลหะหนัก สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน การประเมินความเสี่ยง ความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิต

Thesis Title	Distribution of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Bound on Size-Classified Particles from Recycling Electronics Waste Processes
Student Name	Thidarat Keawhanu
Student ID	57605042
Degree	Master of Science in Environmental Chemistry
Department	Chemistry
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Suwannee Junyapoon
Thesis Co-advisor	Asst. Prof. Achariya Suriyawong

Abstract

E-waste recycling activities in informal sectors release small particulate matters and heavy metals including polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) into the atmosphere. These cause human health effects and environmental problems. This research studied concentrations and size distributions of atmospheric particulates, heavy metals and PAHs bound on different inhalable size fractions emitted from informal e-waste recycling activities including manual dismantling, thermal cutting and open burning of cable sheath. The particle samples were collected on quartz fiber filters using an eight-stage cascade impactor with flow rate of 28.3 L/min at breathing zone of worker. The particles were classified into 9 interval size fractions (10.0-9.0, 9.0-5.8, 5.8-4.7, 4.7-3.3, 3.3-2.1, 2.1-1.1, 1.1-0.65, 0.65-0.43 and <0.43 micron). Heavy metals (Fe, Cr, Zn, Pb, Cu and Mn) were analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) and 16 PAHs were analyzed by selected ion monitoring - Gas Chromatograph - Mass Spectrophotometer (SIM-GC-MS). The results showed that concentrations of inhalable particles emitted from 3 activities during working day were higher than non-working day. The concentrations of particles emitted from thermal cutting and open burning of cable sheath were higher than those of manual dismantling in all particle sizes. Size distributions of particles from 3 activities were bimodal distribution. Manual dismantling and open burning of cable sheath have major peaks in coarse mode while thermal cutting has a major peak in accumulation mode. The concentrations of total heavy metals bound on fine and coarse particles during open burning of cable sheath were higher than those on manual dismantling and thermal cutting. The results revealed that heavy metal concentrations emitted from manual dismantling ranking from high to low were Fe, Pb, Cr, Zn and Cu, respectively. The concentrations of heavy

metals released during thermal cutting ranking from high to low were Fe, Zn, Pb, Cr, Mn and Cu, respectively while those of open burning of cable sheath were Fe, Cr, Pb, Zn, Mn and Cu, respectively. The concentrations of PAHs emitted from thermal cutting were bound on coarse particles followed by fine and ultrafine particles, respectively while those during open burning of cable sheath were bound on fine particles followed by coarse and ultrafine particles, respectively. The results showed that the 5 ring PAHs released from thermal cutting and open burning of cable sheath were 59.63% and 55.67%, respectively, which were the highest fraction of PAHs. Risk assessment of heavy metals through inhalation indicated that exposure of Cr attached on coarse, fine and ultrafine particles during manual dismantling may cause adverse effects on people's health ($HQ \geq 1$) in both of male and female while exposure of Pb bound on coarse, fine and ultrafine particles may cause adverse effects on people's health ($HQ \geq 1$) in both of male and female except exposure of Pb in coarse particles for female cause adverse health effects on people's health ($HQ > 10$). Exposure of Cr and Pb attached on coarse and fine particles during open burning of cable sheath may cause adverse effects on people's health ($HQ \geq 1$) while exposure of heavy metals bound on coarse, fine and ultrafine particles during thermal cutting had no adverse health effects ($HQ < 1$). The estimated lifetime lung cancer risk of PAHs during thermal cutting and open burning of cable sheath were $1.169E-01$ and $8.825E-02$, respectively.

Keywords: Electronics waste recycling, Size distributions, Particulate matters, Heavy metals, PAHs, Risk assessment, Lifetime lung cancer risk

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆ ท่านด้วยกัน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ผศ.ดร. อัจฉริยา สุริยะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้ง 2 ท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหา อันเป็นประโยชน์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมทั้งช่วยตรวจสอบ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งให้คำปรึกษา และประสบการณ์ในด้านต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องความถูกต้อง ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ต่างๆ ท่าน เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท และทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ รวมถึงการสนับสนุนจากทุนวิจัย รัชดาภิเษกสมโภชน์ ประจำปี 2556 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU- 56- 855- SD)

ขอขอบพระคุณร้านค้าของเก่าในชุมชนซอยเสือใหญ่อุทิศ และร้านค้าของเก่าในจังหวัดสมุทรปราการ ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงอำนวยความสะดวกในการให้เข้าไปติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง และทำยนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้ารวมทั้งพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวธิดารัตน์ แก้วหนู

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก-ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค-ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ขยะอิเล็กทรอนิกส์	4
2.2 มลพิษจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	8
2.3 อนุภาคฝุ่นละอองในกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	11
2.3.1 ขนาดฝุ่นละออง	11
2.3.2 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ	14
2.4 ความเป็นพิษของโลหะหนักในฝุ่นละออง	15
2.5 ความเป็นพิษของสาร PAHs ในฝุ่นละออง	18
2.5.1 การเกิดสาร PAHs	18
2.5.2 ผลกระทบ PAHs ต่อสิ่งมีชีวิต	19
2.6 การประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสฝุ่นละอองจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	20
2.6.1 การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสโลหะหนัก	21
2.6.2 การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสาร PAHs	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	26
3.2 สารเคมี	26
3.3 จุดเก็บตัวอย่าง	27
3.4 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง	29
3.5 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	30
3.5.1 การเก็บฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	30
3.5.2 การเก็บฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการ ตัดโลหะด้วยความร้อน	31

สารบัญ

	หน้า
3.5.3 การเก็บฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการเผาสายไฟเพื่อแยกทองแดง ในระดับห้องปฏิบัติการ	32
3.6 การวิเคราะห์สารโลหะหนักและสาร PAHs ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละออง ขนาดต่างๆ	33
3.6.1 การวิเคราะห์สารโลหะหนักที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาด	33
3.6.2 การวิเคราะห์สารโลหะหนักที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาด จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ	33
3.6.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ	34
3.7 การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักและ PAHs ที่จับบนฝุ่นละอองที่เกิดจาก การตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	35
3.7.1 การประเมินความเสี่ยงของโลหะหนัก	35
3.7.2 การประเมินความเสี่ยงของ PAHs	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	39
4.1 การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นละออง ขนาดต่างๆ จากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	39
4.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองจาก กระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	43
4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองจาก กระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน	48
4.1.3 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองจาก กระบวนการเผาสายไฟในระดับห้องปฏิบัติการ	53
4.2 การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายของโลหะหนักบนอนุภาค ฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ จากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	58
4.2.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนัก บนอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาดที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกขยะ อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	58
4.2.2 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนัก บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน	67
4.2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนัก บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่ง	72
4.3 การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (PAHs) บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการ ตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	79

สารบัญ

	หน้า
4.3.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน	79
4.3.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่ง	85
4.4 การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักและ PAHs ที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการตัดแยก ขยะอิเล็กทรอนิกส์	91
4.4.1 การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการตัดแยก ขยะอิเล็กทรอนิกส์	91
4.4.2 การประเมินความเสี่ยง PAHs ที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการตัดแยก ขยะอิเล็กทรอนิกส์	93
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	95
5.1 สรุปผลการวิจัย	95
5.2 ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารอ้างอิง	98
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก	106
ภาคผนวก ข	115
ภาคผนวก ค	149
ภาคผนวก ง	161
ภาคผนวก จ	165
ภาคผนวก ฉ	168
ภาคผนวก ช	174
ประวัติผู้เขียน	201

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและขยะอิเล็กทรอนิกส์ ปี 2556	6
2.2 ลักษณะการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของผู้บริโภค	7
2.3 องค์ประกอบของซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	10
2.4 ตัวอย่าง PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์	19
3.1 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณความเสี่ยงในการรับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองจากการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	36
3.2 สภาวะของการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสาร 16 PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS	38
4.1 ข้อมูลอุบัติเหตุในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ	40
4.2 สภาพแวดล้อม ลักษณะการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และสภาพอากาศบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง	41
4.3 ค่าความเสี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เกาะกับฝุ่นละอองผ่านทางการหายใจ จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	92
4.4 ค่าความเสี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เกาะกับฝุ่นละอองผ่านทางการหายใจ จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน	92
4.3 ค่าความเสี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เกาะกับฝุ่นละอองผ่านทางการหายใจ จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง	92
4.4 ความเข้มข้น PAHs 16 ชนิด บนอนุภาคฝุ่นละออง และค่า $B_{[a]P_{eq}}$	94

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	เส้นทางกำรส่งออกขยะอิเล็กทรอนิกส์	5
2.2	ปริมาณของเสียอันตราย ระหว่างปี 2552 – 2559 จำแนกตามประเภท	5
2.3	วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์	8
2.4	รูปร่างอนุภาคฝุ่น	12
2.5	การเกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ	13
2.6	ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดต่างๆต่อระบบทางเดินหายใจ	14
2.7	ลักษณะโครงสร้างของสาร PAHs 16 ชนิด ที่อยู่ในรายชื่อสารก่อมะเร็งของ U.S. EPA	20
3.1	บริเวณที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่าง	28
3.2	ลักษณะจุดเก็บตัวอย่าง ที่ 1 และลักษณะจุดเก็บตัวอย่างที่ 2	28
3.3	ลักษณะเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8-stage cascade impactor)	29
3.4	การต่อเครื่องสอบเทียบอัตราการไหลเข้ากับ 8-stage cascade impactor	30
4.1	สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค	44
4.2	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือแบ่งตามขนาดของอนุภาค	47
4.3	รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	48
4.4	สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อนแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค	50
4.5	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการตัดโลหะด้วยความร้อนแบ่งตามขนาดของอนุภาค	52
4.6	รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน	53
4.7	สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟในที่โล่งแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค	54
4.8	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการเผาสายไฟระดับห้องปฏิบัติการแบ่งตามขนาดของอนุภาค	56
4.9	รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการเผาสายไฟระดับห้องปฏิบัติการ	57
4.10	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 กิจกรรมแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค	58
4.11	สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค	59

สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
4.12	ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค	64
4.13	รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	66
4.14	สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อนแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค	68
4.15	ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อนแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค	70
4.16	รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่มีการตัดชิ้นส่วนโลหะของขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน	71
4.17	สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการเผาสายไฟในที่โล่งแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค	73
4.18	ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการเผาสายไฟในที่โล่งแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค	76
4.19	รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง	77
4.20	ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดบนฝุ่นละอองจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 กิจกรรม แบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค	78
4.21	ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ทั้งหมดบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน	80
4.22	ความเข้มข้นของ 16 PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน	81
4.23	รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก 4 วงอะโรมาติก 5 วงอะโรมาติก และ 6 วงอะโรมาติก บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน	83
4.24	สัดส่วนสาร PAHs 2-6 วงอะโรมาติก และสัดส่วนสาร PAHs แบ่งตามความสามารถในการก่อมะเร็งในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากการตัดชิ้นส่วนโลหะของขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน	84
4.25	ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ทั้งหมดบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการเผาสายไฟ	86
4.26	ความเข้มข้นของ 16 PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก จากกระบวนการเผาสายไฟ	86

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
4.27	รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก 4 วงอะโรมาติก 5 วงอะโรมาติก และ 6 วงอะโรมาติก บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆจากกระบวนการเผาสายไฟ	88
4.28	สัดส่วนสาร PAHs 2-6 วงอะโรมาติก และสัดส่วนสาร PAHs แบ่งตามความสามารถในการก่อมะเร็ง (ข) ในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากการเผาสายไฟในที่โล่ง	89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การขยายตัวของเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากร รวมทั้งการพัฒนาทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์ กล้องถ่ายรูป และ โทรศัพท์มือถือ ทำให้เกิดความต้องการในการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เพิ่มมากขึ้น เมื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ถูกทิ้งเนื่องจากหมดอายุการใช้งาน หรือเลิกใช้งานเนื่องจากความล้าสมัย จะทำให้เกิดซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment หรือ WEEE) หรือขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic waste, E-waste) จำนวนมาก ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้มีโลหะหนักและสารพิษอื่นๆ เช่น สารหน่วงการติดไฟกลุ่มโบรมีน (brominated flame retardants) โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) โพลีคลอริเนตไบฟีนิล (polychlorinated biphenyls, PCBs) ไตรฟีนิลฟอสเฟต (triphenylphosphate, TPP) โนนิลฟีนอล (nonylphenol, NP) โพลีคลอริเนตเต็ดแนฟทาลีน (polychlorinated naphthalene, PCNs) นอกจากนี้ ยังสามารถพบสารไดออกซิน (dioxins) และ สารฟิวแรน (furans) รวมถึงสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAHs) ได้เมื่อมีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์ (อรรวรรณ และ ศุภิพร, 2553) ประเทศไทย พบว่าในปี พ.ศ. 2559 มีการเพิ่มขึ้นของขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงประมาณ 393,070 ตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) และในปี พ.ศ. 2560 มีการเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 401,300 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 65 ของของเสียอันตรายประเภทอื่นๆ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 2.2 ในทุกๆปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) นอกจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นภายในประเทศแล้ว ยังพบว่าปริมาณชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้แล้ว ประมาณ 0.25 ล้านตัน ถึง 1.3 ล้านตันถูกส่งออกจากยุโรปในทุกๆปีมายังประเทศที่กำลังพัฒนาในภูมิภาคเอเชียเพื่อกำจัด เช่น จีน อินเดีย เวียดนาม รวมทั้งประเทศไทย (Baldé *et al.*, 2017)

จากการที่ขยะอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ ยังคงมีส่วนประกอบที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ เช่น พลาสติก และโลหะที่เป็นส่วนประกอบ เช่น ทองแดง เหล็ก สังกะสี และอะลูมิเนียม เป็นต้น ดังนั้น การรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีระบบรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่างครบวงจร จึงทำให้ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ถูกรวบรวมและคัดแยกชิ้นส่วนผ่านระบบค้าของเก่า ผู้ประกอบการรายย่อย ซึ่งเป็นชาวบ้านนำซากผลิตภัณฑ์มาถอดแยกชิ้นส่วนด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ รวมถึงการ ตัดชิ้นส่วนที่เป็นโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟเพื่อแยกทองแดง เพื่อนำชิ้นส่วนที่มีมูลค่าขาย ให้แก่โรงงานรีไซเคิลขนาดใหญ่ (สุจิตรา และคณะ, 2558) กิจกรรมในการคัดแยกเหล่านี้ส่งผลให้เกิด

การปนเปื้อนของมลพิษหลายชนิดทั้งโลหะหนักและสารอินทรีย์สู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน น้ำ และอากาศ (Zheng และคณะ, 2015) และรวมถึงการได้รับอันตรายจากสารมลพิษของผู้ปฏิบัติงานผ่านการสัมผัสทางผิวหนัง เข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร และระบบทางเดินหายใจ งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ก่อให้เกิดฝุ่นละอองที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr) เป็นต้น (Julander และคณะ, 2014) นอกจากนี้ Deng และคณะ (2006) ยังพบว่าการปนเปื้อนของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) บนฝุ่นละอองรวม (Total suspended particles, TSP) และฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5) บริเวณพื้นที่ที่มีกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสารมลพิษดังกล่าวมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์แบบเฉียบพลันและเรื้อรัง ทั้งในแง่ของการเป็นสารก่อมะเร็งและทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม (อรรชร และศุภสิทธิ์, 2553) ในกรุงเทพมหานคร พบแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่บริเวณชุมชนซอยเสือใหญ่ อุทิศ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งผู้คนในชุมชนนี้ได้ประกอบอาชีพค้าของเก่าซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์มาเป็นเวลานานกว่า 50 ปี นอกจากนี้ ยังมีร้านค้าของเก่าอีกจำนวนมากที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีขั้นตอนการคัดแยกหลักคือ การถอดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ การตัดชิ้นส่วนโลหะของขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน และการเผาสายไฟเพื่อคัดแยกทองแดง (สุจิตราและคณะ, 2558) ซึ่งขั้นตอนการคัดแยกเหล่านี้ทำให้เกิดการสัมผัสกับโลหะหนักและสาร PAHs ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เกิดจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงชนิดและปริมาณโลหะหนัก และ PAHs ที่จับอยู่กับฝุ่นละอองขนาดต่างๆ โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (Eight-Stage Cascade Impactor) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสมลพิษในฝุ่นละออง จากการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษารูปแบบการกระจายตัว ความเข้มข้น และลักษณะของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่เกิดจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์
2. ศึกษาชนิดและปริมาณสารโลหะหนักและสาร PAHs ที่ดูดซับบนฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่เกิดจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์
3. ประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสมลพิษจากกิจกรรมในการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ จากร้านคัดแยกของเก่าในชุมชนซอยเสือใหญ่ อุทิศ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยเก็บตัวอย่างอากาศ

ด้วยเครื่อง 8-Stage Cascade Impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที ในช่วงเวลาทำงาน ระดับความสูงประมาณ 1 เมตร (ระดับที่คนงานหายใจขณะทำงาน) ระหว่างวันที่ 6-10 และ 20-21 เมษายน 2558 และเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองจากโรงเรียนในบริเวณใกล้เคียงแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในวันที่ 22 เมษายน 2558

2. เก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนจากร้านคัดแยกของเก่าในตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง 8-Stage Cascade Impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที ในช่วงเวลาทำงานตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน ที่ระดับความสูงประมาณ 1 เมตร (ระดับที่คนงานหายใจขณะทำงาน) ระหว่างวันที่ 29 เมษายน 27 สิงหาคม และ 18 ธันวาคม 2558 และเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองในเวลาทำงานแต่ไม่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนในวันที่ 20 สิงหาคม 2558

3. เก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองจากกิจกรรมการเผาสายไฟ โดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง 8-Stage Cascade Impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที ระดับความสูง 1.5 เมตร ในวันที่ 1 และ 11 พฤษภาคม 2558 และเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองในขณะที่ไม่มีการเผาสายไฟ ในวันที่ 12 พฤษภาคม 2558

4. ศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยแบ่งกิจกรรมที่ทำการศึกษาออกเป็น การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ

5. ศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักที่จับอยู่กับฝุ่นละอองในแต่ละกิจกรรม ได้แก่ Fe, Pb, Mn, Cu, Cr และ Zn โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

6. ศึกษาชนิดและปริมาณสาร 16 PAHs ที่จับอยู่กับฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ โดยวิธีการสกัดด้วย Acetonitrile ด้วย Ultrasonicator และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS)

7. ประเมินความเสี่ยงการได้รับมลพิษ จากค่า Hazard Quotient (HQ) ที่ได้จากคำนวณระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวันสำหรับการหายใจ (Average Daily Dose for Inhalation; ADD_{inh}) เทียบกับปริมาณสารที่รับได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (Reference Dose; RfD) ตามวิธีของ United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลการแพร่กระจายขนาดของฝุ่นละออง ชนิดและปริมาณโลหะหนักและ PAHs ที่จับอยู่กับฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

2. ได้ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงจากมลพิษทางอากาศในการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นในขณะทำงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

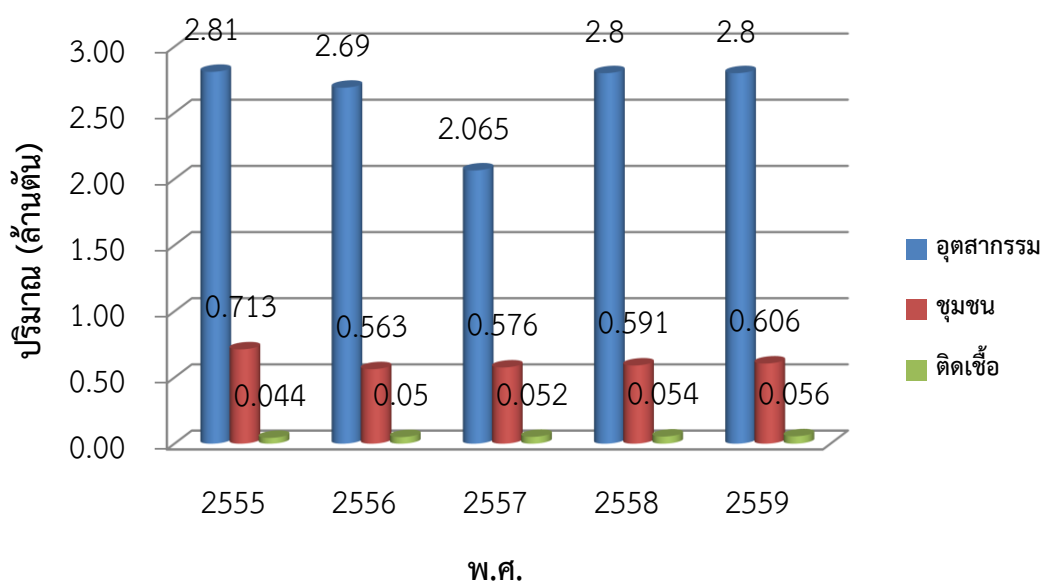
2.1 ขยะอิเล็กทรอนิกส์

ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Waste, E-waste) หรือซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE) หมายถึงของเสียจำพวกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เสื่อมสภาพหรือไม่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้งาน ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์เกือบทุกประเภทที่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงาน อาทิเช่น โทรทัศน์ วิทยุ คอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ (สุจิตรา, 2558) ปัจจุบันการบริโภคสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยในปี พ.ศ. 2559 ทั่วโลกมีขยะอิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นเป็นจำนวน 44.7 ล้านตัน และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 52.2 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2564 ซึ่งทวีปเอเชียเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุด (18.2 ล้านตัน) รองลงมา คือ ทวีปยุโรป (12.3 ล้านตัน) ทวีปอเมริกา (11.3 ล้านตัน) ทวีปแอฟริกา (2.2 ล้านตัน) และโอเชียเนีย (0.7 ล้านตัน) ตามลำดับ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ มักจะถูกจัดส่งเข้าสู่ตลาดมืดเพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลของผู้ผลิต สำนักงานสิ่งแวดล้อมยุโรป (The European Environment Agency, EEA) ประมาณการว่ามีปริมาณขึ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้แล้วอยู่ระหว่าง 0.25 ล้านตัน ถึง 1.3 ล้านตัน ถูกส่งออกจากยุโรปในทุกๆปีมายังประเทศที่กำลังพัฒนาในภูมิภาคเอเชีย เช่น จีน อินเดีย ปากีสถาน รวมทั้งประเทศไทย ดังรูปที่ 2.1 เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่น้อยกว่าและกฎหมายที่เกี่ยวข้องในด้านสิ่งแวดล้อมยังไม่เข้มงวด (Balde *et al.*, 2017)

ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นประมาณ 3.46 ล้านตัน โดยของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม 2.80 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 80.92 และเป็นของเสียอันตรายจากชุมชน 0.61 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 17.63 ของเสียอันตรายทั้งหมดในประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยร้อยละ 65 เป็นซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE) และอีกร้อยละ 35 เป็นของเสียอันตรายที่เกิดในบ้านเรือนและชุมชน



รูปที่ 2.1 เส้นทางการส่งออกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดย (●) คือ ประเทศที่ส่งออกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (●) คือ ประเทศปลายทางที่มีการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ และ (●) คือประเทศที่สงสัยว่ามีการลักลอบกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์
 ที่มา: Philippine Center for Investigative Journalism (2008)



รูปที่ 2.2 ปริมาณของเสียอันตราย ระหว่างปี 2552 – 2559 จำแนกตามประเภท
 ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2560)

นอกจากนี้ ยังพบว่าซากผลิตภัณฑ์ประเภทโทรทัศน์มีปริมาณสูงถึง 101,286 ตันต่อปี รองลงมา เป็นเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า คอมพิวเตอร์ เครื่องเล่นวีซีดีหรือดีวีดี โทรศัพท์ และกล้อง ถ่ายรูปดิจิทัล ตามลำดับ (ตารางที่ 2.1) ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้น ประมาณร้อยละ 12 ต่อปี โดยเพิ่มขึ้นจาก 308,845 ตัน ในปี พ.ศ. 2550 เป็น 393,070 ตัน ในปี พ.ศ. 2558 (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและขยะอิเล็กทรอนิกส์ ปี 2556

ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณซากผลิตภัณฑ์ฯ (ตัน/ปี)
โทรทัศน์	101,286
เครื่องปรับอากาศ	71,821
ตู้เย็น	63,092
เครื่องซักผ้า	58,930
คอมพิวเตอร์	53,958
เครื่องเล่นวีซีดี/ดีวีดี	17,458
โทรศัพท์	1,620
กล้องถ่ายรูปดิจิทัล	184

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2556)

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าขยะอิเล็กทรอนิกส์มีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นเป็น 3 เท่าของขยะมูลฝอย จากชุมชน โดยเฉพาะขยะที่มาจากผลิตภัณฑ์ด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ และ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอัตราการผลิตสูงขึ้นตามความต้องการของตลาด รวมทั้งความล้าสมัยเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงรุ่น ทำให้มีการเลิกใช้และถูกทิ้งเป็นขยะสะสมปริมาณมาก นอกจากนี้ ประเทศไทยยังเป็นหนึ่งในประเทศปลายทางของขยะอิเล็กทรอนิกส์จากทั่วโลก ซึ่งขยะเหล่านี้จะถูกแอบแฝงมาในรูปของการนำเข้าสินค้าคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้แล้วจากต่างประเทศที่มีอายุการใช้งานสั้นและจะสร้างปัญหามลพิษในอนาคต (ชมพูนุท, 2555) สำหรับสถานการณ์การนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 พบว่ามีการนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์ถึง 52,221 ตัน ซึ่งใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2560 ที่มีการนำเข้าสูงถึง 64,436 ตัน (สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, 2561)

การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยยังไม่มีระบบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการและครบวงจร ประชาชนทั่วไปและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ยังไม่มีความตระหนักและความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรายที่เกิดจากการจัดการที่ไม่ถูกต้องทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่การเก็บรวบรวม การคัดแยก การรีไซเคิล และการกำจัด จากการสำรวจข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2555 พบลักษณะการจัดการซากผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคดังตารางที่ 2.2

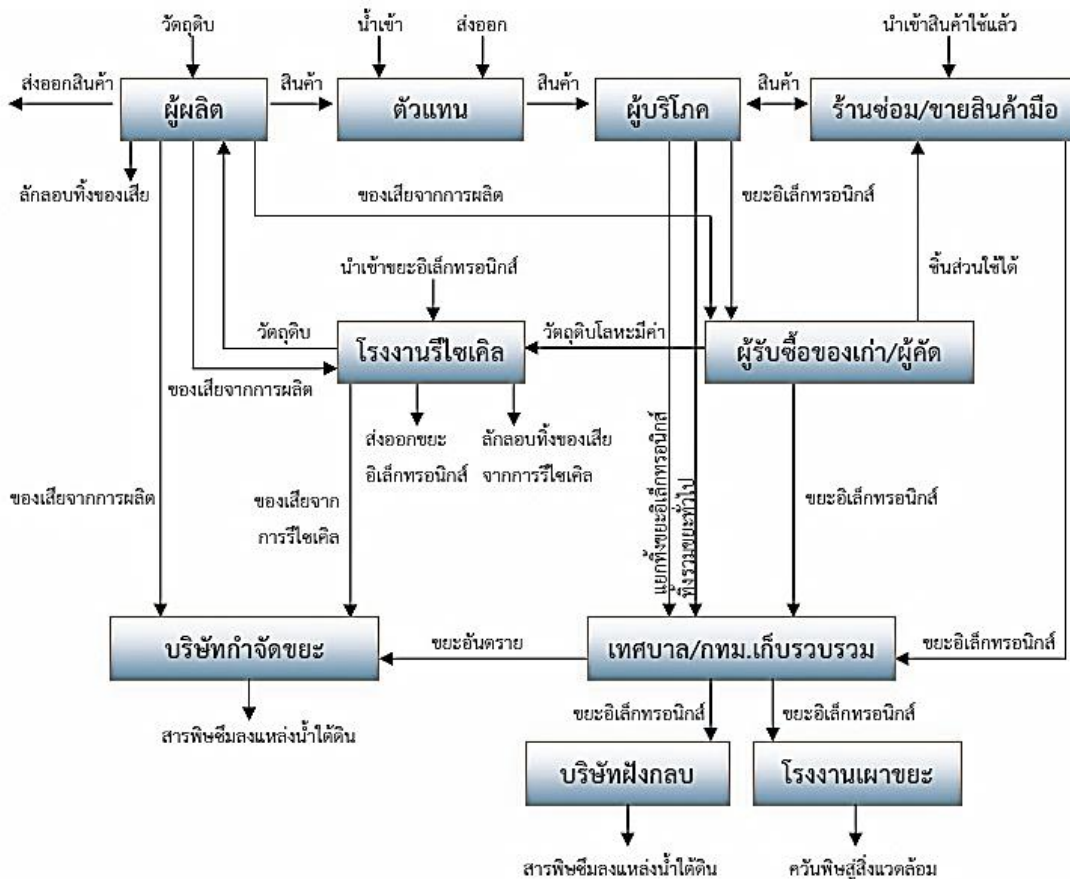
ตารางที่ 2.2 ลักษณะการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของผู้บริโภค

การจัดการซากผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค	ร้อยละ
ขายให้ชาเลนจ์หรือร้านรับซื้อของเก่า	51.27
เก็บรวบรวมไว้	25.32
ทิ้งปนไปกับขยะทั่วไป	15.6
ให้ผู้อื่น	7.84

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2551)

จะเห็นได้ว่า ชาเลนจ์หรือร้านรับซื้อของเก่าเป็นแหล่งรวบรวมซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและขยะอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุด หากเกิดการทิ้งหรือเก็บผลิตภัณฑ์เก่าไว้โดยไม่มีการซ่อมแซม (repair) ไม่มีการนำชิ้นส่วนที่ใช้ได้มาใช้ซ้ำ (reuse) หรือไม่มีการรีไซเคิลนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ (recycle) จะส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติ จากการที่ขยะอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยเศษเหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม ชิ้นส่วนพลาสติก และเศษแก้ว รวมถึงโลหะมีค่า เช่น ทอง เงิน แพลตตินัม พาลาเดียม โรเดียม และโลหะหายาก (rare earth metals) หลายชนิด โดยเฉพาะในแผงวงจรแม่เหล็ก เลนส์ และชิ้นส่วนอื่น ๆ ซึ่งโลหะดังกล่าวสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้ (สุจิตรา และปเนต, 2555) ลักษณะวงจรชีวิต (Life cycle) ของขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยดังแสดงในรูปที่ 2.3

วงจรชีวิตของการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดขยะอิเล็กทรอนิกส์จากทั้งผู้บริโภคที่ใช้สินค้า และผู้ผลิตในรูปของเสียที่เกิดจากการผลิต รวมถึงการนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์จากต่างประเทศ จะเห็นได้ว่ามีหลายกลุ่มอาชีพที่เข้ามาเกี่ยวข้องและมีรายได้จากการคัดแยกและการรีไซเคิลของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แล้วหรือหมดอายุ อย่างไรก็ตาม กลุ่มผู้รับซื้อของเก่าและผู้คัดแยกถือเป็นกลุ่มอาชีพหนึ่งที่มีกิจกรรมเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม พบว่าในกรุงเทพฯ มีรถชาเลนจ์รับซื้อของเก่าอยู่ถึง 25,000 คัน ร้านรับซื้อของเก่าทั่วประเทศมีมากกว่า 1 หมื่นร้าน และมักตั้งอยู่ในย่านชุมชน (ญาณัญญา, 2553) ของเก่าและขยะอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่รับซื้อจะเข้าสู่กระบวนการคัดแยกชิ้นส่วนที่มีมูลค่า โดยกระบวนการคัดแยกส่วนใหญ่เป็นการคัดแยกโดยใช้แรงงานคน และยังไม่มียุทธศาสตร์ที่ดี ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน และชุมชนใกล้เคียง



รูปที่ 2.3 วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อสังหาริมทรัพย์

ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2558)

2.2 มลพิษจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปแล้วเมื่อหมดอายุการใช้งานมักถูกนำไปทิ้งหรือขายให้กับร้านคัดแยกของเก่า ความเป็นอันตรายของซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความเสียหาย หล่น แตกหักจากการเคลื่อนย้าย หรือเมื่อมีการถอดแยกชิ้นส่วน และนำไปรีไซเคิลอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เช่น การใช้ความร้อนในการตัดหรือเผาสายไฟ และชิ้นส่วนพลาสติก เพื่อแยกชิ้นส่วนที่เป็นโลหะอื่น การใช้กรดเข้มข้นในการสกัดโลหะมีค่า นอกจากนี้ การทิ้งกากของเสียที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้แล้วปะปนไปกับขยะมูลฝอยทั่วไปหรือล้นทิ้งในที่สาธารณะส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของสารอันตราย รวมทั้งการปล่อยมลพิษและการทิ้งสารเคมีที่ใช้แล้วจากกระบวนการรีไซเคิล มักก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพคนงาน ประชาชนทั่วไป และปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้

กิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ได้แก่

1. การถอดแยก และชำแหละชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยไม่มีการควบคุมกระบวนการเหล่านี้จะทำให้สารอันตรายปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม เช่น การถอดแยกตู้เย็นทำให้สารทำ

ความเย็นปนเปื้อนออกสู่ชั้นบรรยากาศ การทុบจอตอร์ทัศน์ทำให้สารตะกั่วปนเปื้อนสู่ดินและแหล่งน้ำ การทุบหลอดไฟเพื่อแกะขั้วอะลูมิเนียมทำให้เกิดการรั่วไหลของสารปรอท เป็นต้น

2. การเผาหรือการใช้ความร้อน เช่น การเผาสายไฟในที่โล่งจะก่อให้เกิดสารไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็ง มีผลต่อระบบสืบพันธุ์และระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งเกิดจากเปลือกหุ้มสายไฟที่เป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ รวมถึงการใช้เตาแบบเปิดเพื่อหลอมตะกั่วบัดกรีจากแผงวงจร ที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของไอตะกั่วออกสู่บรรยากาศ

3. การใช้สารอันตรายสกัดโลหะมีค่า เช่น การใช้น้ำกรดและไซยาไนด์สกัดทองคำจากชิปคอมพิวเตอร์ หากไม่มีระบบบำบัดที่ดี สารอันตรายจะปนเปื้อนสู่ดิน น้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำผิวดิน

ขยะอิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่สำคัญแตกต่างกัน รวมถึงสารอันตรายที่ต่างชนิดกัน (ตารางที่ 2.3) จากองค์ประกอบที่ต่างกันอย่างนี้นำไปสู่การปนเปื้อนของมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน น้ำ และอากาศ ดังนี้

1. การปนเปื้อนของสารพิษลงสู่ดินและน้ำ ในขั้นตอนการรื้อของเก่าบางประเภทจะมีการเททิ้งเศษหรือสารอันตรายลงดิน เช่น การรื้อเครื่องยนต์ต่าง ๆ จะมีน้ำมันเครื่องไหลลงพื้นจำนวนมาก การเทน้ำกรดจากแบตเตอรี่รถยนต์ทิ้งลงดิน การทิ้งเศษกระจกจากจอโทรทัศน์ทำให้สารตะกั่วที่อยู่ในจอภาพแพร่กระจายสู่ดินและน้ำ รวมทั้งการกองเผาเศษวัสดุ ทำให้สารพิษในเศษวัสดุปนเปื้อนอยู่ในขี้เถ้าที่เหลืออยู่สะสมในดินและแพร่สู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

2. การปนเปื้อนของสารพิษในอากาศ ในกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์พบว่ามีมลพิษทางอากาศเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะคือ ในรูปของก๊าซ ในขั้นตอนการเผาชิ้นส่วนเพื่อแยกเอาวัสดุมีค่า เช่น การเผาสายไฟเพื่อเอาทองแดง การเผาชิ้นส่วนพลาสติกเพื่อคัดแยกน็อต การเผายางรถยนต์เพื่อคัดแยกเส้นลวด ส่งผลให้เกิดก๊าซพิษในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds, VOCs) ละอองไอของโลหะหนัก สารไดออกซินและฟิวแรน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรง (สุจิตรา และปเนต, 2555) นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดมลพิษในรูปของอนุภาคฝุ่นละอองซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่อยู่อาศัยในละแวกใกล้เคียง

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ประเภท	องค์ประกอบสำคัญ
โทรทัศน์ แบบ CRT	องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ แก้วทั้งด้านนอกและด้านในของหลอดภาพ CRT เหล็กยึดและเหล็กควบคุมรังสี สารฉาบเรืองแสง ปีนีอิเล็กทรอนิกส์ ทำจากแก้วและเหล็กกล้าไร้สนิม PCB (Printed Circuit Board) และพลาสติกครอบ ประกอบด้วยแก้วมีปริมาณมากที่สุด (ร้อยละ 57) รองลงมาคือ พลาสติก (ร้อยละ 23) เหล็ก (ร้อยละ 10) ทองแดง (ร้อยละ 3) อะลูมิเนียม (ร้อยละ 2) และอื่นๆ (ร้อยละ 5) ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย ได้แก่ ตะกั่วในจอภาพ สารโบรมีนในพลาสติกและสายไฟ (สารหน่วงไฟ) แคดเมียมในสายไฟ
โทรทัศน์ แบบ LCD/Plasma/LED	องค์ประกอบสำคัญของจอ LCD (Liquid Crystal Displays) ได้แก่ โลหะที่มีส่วนประกอบของเหล็ก (ร้อยละ 47) พลาสติก (ร้อยละ 22) แหล่งกำเนิดแสง back light (back light module) (ร้อยละ 12) แก้วที่เคลือบฟิล์มที่มีส่วนผสมของ Indium tin oxide (ร้อยละ 7) อะลูมิเนียม (ร้อยละ 5) แผงวงจรไฟฟ้า (ร้อยละ 4) และตะกั่ว (ร้อยละ 3) ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย ได้แก่ ผลึกเหลว (liquid crystals) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์กว่า 10-20 ชนิด สารอันตราย/สารก่อมะเร็ง เช่น Phenylcyclohexane, Cyclohexane, Biphenyl และ Pyrimidine รวมทั้งสารปรอทในหลอด back light
กล้องถ่ายภาพ/วิดีโอ	กล้องดิจิทัลและกล้องวิดีโอ ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เลนส์ซึ่งทำมาจากแก้ว ตัวครอบภายนอกส่วนใหญ่ทำมาจากอะลูมิเนียมหรือพลาสติกอัดแข็ง ตัวเซนเซอร์บันทึกภาพ แบตเตอรี่ซึ่งเป็นแบบลิเทียมไอออน และนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ ปุ่มกดต่างๆ ไฟแฟลช และจอภาพ LCD ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย ได้แก่ จอภาพ LCD แบตเตอรี่
เครื่องพิมพ์ (Printer) และโทรสาร	ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ แผงวงจรไฟฟ้า กรอบพลาสติกภายนอก สายไฟ ตัวปุ่มกดไมโครโฟนและลำโพง (ในกรณีของเครื่องโทรสาร) และอื่นๆ ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย ได้แก่ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับหมึกพิมพ์ทั้งหมด เช่น สารเคมีที่เป็นหมึก ตลับหมึก (toner cartridge) ฟิวเซอร์ (fuser) Fax roll เป็นต้น ซึ่งต้องมีการแยกออกจากส่วนอื่นๆ ที่ไม่มีการปนเปื้อนหมึก เพื่อนำไปรีไซเคิลในกระบวนการเฉพาะ

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (ต่อ)

ประเภท	องค์ประกอบสำคัญ
โทรศัพท์เคลื่อนที่	ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ แผงวงจรที่มี PCB (Printed Circuit Board), เสาอากาศทำมาจากโลหะและสายไฟ, หน้าจอผลึกเหลว (LCD) และแบตเตอรี่ (NiCd, NiMH และ Li-ion ซึ่งมีความนิยมสูงสุด) กรอบหน้ากักทำมาจากพลาสติกโพลีคาร์บอเนตหรือ ABS และอาจมีโลหะเคลือบ ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย ได้แก่ จอภาพ LCD และแบตเตอรี่
คอมพิวเตอร์ (แบบตั้งโต๊ะ/แบบพกพา)	ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ หน่วยประมวลผล (CPU) การ์ดแสดงผล หน่วยความจำ อุปกรณ์เสริมต่างๆ เช่น เมาส์ แป้นพิมพ์ ไมโครโฟน ลำโพง เป็นต้น ส่วนจอคอมพิวเตอร์ มีทั้งแบบ CRT และ LCD กระบวนการรีไซเคิลจึงสามารถจัดกลุ่มเดียวกับจอโทรทัศน์ได้ตามประเภทของจอ ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย ได้แก่ จอคอมพิวเตอร์ ทั้งแบบจอ CRT และ จอ LCD สารที่เป็นพิษจึงมีลักษณะเดียวกันกับโทรทัศน์ (โบรมีน ตะกั่ว แคดเมียม)
เครื่องปรับอากาศ	ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ แผงท่อทำความเย็น คอมเพรสเซอร์ แผงท่อระบายความร้อน พัดลมส่งความเย็นและพัดลมระบายความร้อน แผ่นกรองอากาศ หน้ากักเครื่องที่มีแผ่นกระจายลมเย็น อุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็นและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้ององค์ประกอบหลักที่แยกได้ คือ เหล็ก พลาสติก และทองแดง ส่วนประกอบที่เป็นอันตราย (กรณีรุ่นเก่า) ได้แก่ สารทำความเย็นที่ใช้ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) มีความเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมาก เพราะสามารถทำลายชั้นโอโซนได้

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2562)





2.3 อนุภาคฝุ่นละอองในกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ฝุ่นละอองหมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ บางครั้งอาจมีขนาดใหญ่เป็นสีดำจางมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางครั้งอาจมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น โดยทั่วไปฝุ่นละอองในอากาศจะมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ซึ่งฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์มากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและมีผลต่อสุขภาพมากกว่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

2.3.1 ขนาดของฝุ่นละออง

ขนาดของอนุภาค หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่นละออง ในกรณีที่มีอนุภาคฝุ่นละอองมีลักษณะเป็นทรงกลม แต่โดยทั่วไปแล้วอนุภาคฝุ่นมีหลายลักษณะนอกจากทรงกลม ดัง

แสดงในรูปที่ 2.4 อนุภาคที่มีลักษณะไม่ใช่ทรงกลมจึงมักบอกขนาดที่เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (equivalent diameter) โดยเทียบกับ Project area พื้นที่ผิว ปริมาตร และมวลของอนุภาค

	Solid Sphere
	Hollow Sphere
	Solid Irregular
	Flake
	Fiber
	Condensation Floc
	Aggregate

รูปที่ 2.4 รูปร่างอนุภาคฝุ่น

ที่มา: State of California's Air Resources Board (2019)

ขนาดของฝุ่นละอองสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท (Sandstrom *et al.*, 2005) คือ

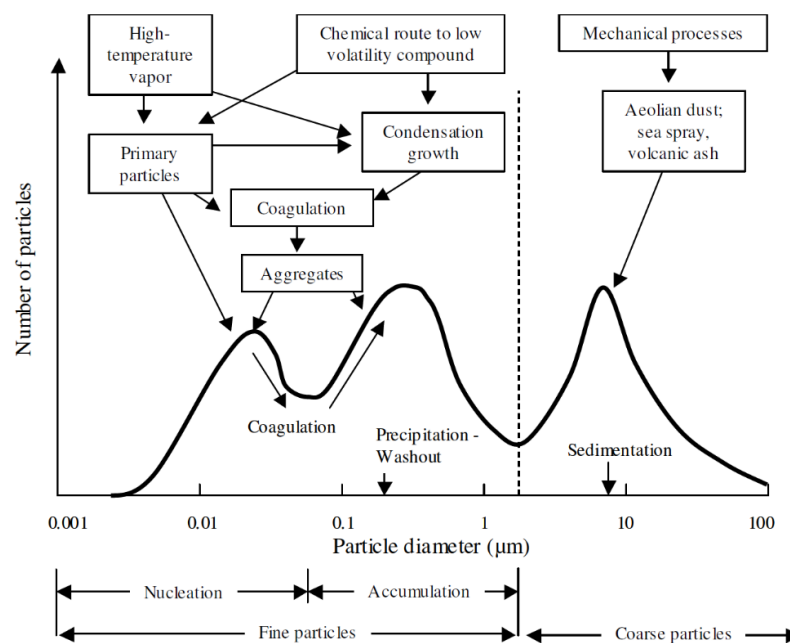
1. ฝุ่นละอองรวม (super coarse particles) เป็นอนุภาคฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน
2. ฝุ่นหยาบ (coarse particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ การจราจร การขนส่งวัสดุ และฝุ่นจากกิจกรรมการบด ย่อยหิน การทำเหมืองแร่ เป็นต้น โดยฝุ่นละอองหยาบจะเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนต้น และมักเป็นที่อยู่ของแบคทีเรีย ส่งผลกระทบต่ออาการอักเสบของระบบทางเดินหายใจ ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ (Liu *et al.*, 2015)
3. ฝุ่นละเอียด (fine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1-2.5 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้ง การเกิดไฟป่า การหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ ยังเกิดจากก๊าซ SO₂, NO_x และ VOCs ทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นในบรรยากาศ เกิดการรวมตัวกับก๊าซในสภาวะที่มีความดันไอต่ำ ฝุ่นละอองละเอียดเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ส่งผลให้เกิดการอักเสบของระบบทางเดินหายใจ และส่งผลกระทบต่อการทำงานของหลอดเลือดเมื่อเข้าสู่กระแสเลือด (Samet *et al.*, 2009)

4. ฝุ่นละอองละเอียดมาก (ultrafine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการรวมตัวของไออน้ำ ในช่วงระหว่างเกิดการเผาไหม้และมีอุณหภูมิสูง ซึ่งฝุ่นละอองละเอียดมากจะเข้าสู่ทางเดินหายใจจนถึงถุงลมปอด และสามารถแพร่ผ่านถุงลมปอดเข้าสู่กระแสเลือด ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของหัวใจ (Cho *et al.*, 2009)

ลักษณะในการเกิดฝุ่นละอองมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกิจกรรมหรือกระบวนการที่ใช้ (Slezakova *et al.*, 2012) โดยฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ อาจเกิดได้จาก 2 กระบวนการ ดังนี้

1. กระบวนการเผา หรือใช้ความร้อน จะก่อให้เกิดอนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก (fine particles) และเล็กมาก (ultrafine particles) ซึ่งสามารถแขวนลอยในอากาศได้เป็นระยะเวลาสั้น
2. กระบวนการทางกายภาพ เช่น การตอก การทุบ และการแยกด้วยมือ จะก่อให้เกิดฝุ่นละอองหยาบ (coarse particles) ซึ่งบางครั้งอาจพบได้ในรูปของควันหรือเขม่า

ฝุ่นละอองที่ถูกระบายจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เรียกว่า ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (primary particles) อาจอยู่ในรูปก๊าซ หรือฝุ่นละอองขนาดเล็ก (nuclei mode) หรือฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (coarse mode) ที่ได้จากกระบวนการทางกายภาพ เช่น การเผาสายไฟ การตัดโลหะด้วยความร้อน เมื่อฝุ่นละอองขนาดเล็กใน nuclei mode ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจะเกิดการทำปฏิกิริยาทางเคมี (chemical reactions) และปฏิกิริยาเคมีเชิงแสง (photochemical reactions) กลายเป็นฝุ่นละอองทุติยภูมิ (secondary particles) ผ่านกระบวนการควบแน่น (condensation) หรือการรวมตัวกันของอนุภาค (coagulation) ทำให้ฝุ่นละอองมีขนาดใหญ่ขึ้น (accumulation mode) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

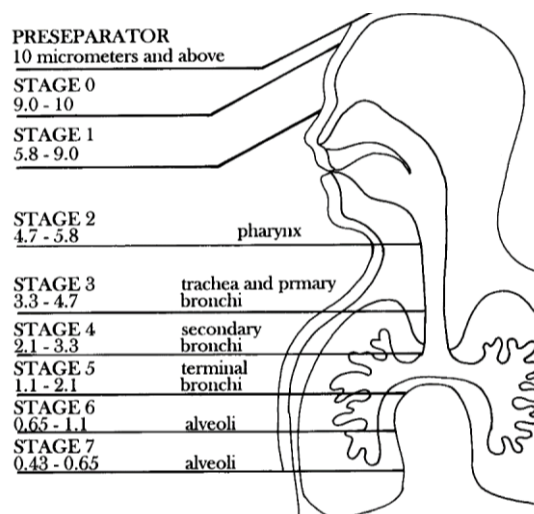


รูปที่ 2.5 การเกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ที่มา: Wilson *et al.* (2002)

2.3.2 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

1. ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ก่อให้เกิดปัญหาหามลพิษหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ ส่วนฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจะเกาะตัวหรือตกตัวได้ในส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะนั้น ๆ เช่น เนื้อเยื่อปอด ซึ่งหากได้รับในปริมาณมากหรือในช่วงเวลานาน จะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นพังผืดหรือแผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ เกิดหอบหืดถุงลมโป่งพอง และโอกาสเกิดโรกระบบทางเดินหายใจเนื่องจากติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) โดยแบ่งขนาดฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ออกเป็น 8 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 คือฝุ่นละอองขนาด 10.0-9.0 ไมครอน (stage 0) ฝุ่นละอองขนาด 9.0-5.8 ไมครอน (stage 1) เข้าสู่ระบบหายใจส่วนต้นและตักบริเวณโพรงจมูก (nasal cavity) ฝุ่นละอองขนาด 5.8-4.7 ไมครอน (stage 2) เข้าสู่บริเวณคอหอย (pharynx) ซึ่งเป็นทางเชื่อมต่อระหว่างปาก โพรงจมูก และหลอดอาหาร ฝุ่นละอองขนาด 4.7-3.3 ไมครอน (stage 3) เข้าสู่บริเวณหลอดลม (trachea) และท่อหลอดลมระดับที่หนึ่ง (primary bronchi) ฝุ่นละอองขนาด 3.3-2.1 ไมครอน (stage 4) เข้าสู่บริเวณท่อหลอดลมระดับที่สอง (secondary bronchi) ฝุ่นละอองขนาด 2.1-1.1 ไมครอน (stage 5) เข้าสู่บริเวณระดับปลายแขนงหลอดลม (terminal bronchi) ฝุ่นละอองขนาด 1.1-0.65 ไมครอน (stage 6) และ 0.65-0.43 ไมครอน (stage 7) เข้าสู่บริเวณถุงลมปอด (alveoli) ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ โดยสามารถเข้าไปได้ถึงระดับถุงลม ซึ่งจะทำให้การแลกเปลี่ยนอากาศหรือก๊าซออกซิเจนน้อยลง ทำให้หายใจสั้น และหัวใจทำงานหนักมากขึ้นเพื่อทดแทนปริมาณการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ลดลง นอกจากนี้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีสารที่เป็นพิษ ยึดเกาะอยู่ เช่น โลหะหนัก และสาร PAHs ซึ่งเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง



รูปที่ 2.6 ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดต่างๆต่อระบบทางเดินหายใจ

ที่มา: Tisch Environmental, Inc. (1999)

2. ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ ความสกปรกของวัตถุ เป็นต้น

3. ผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็ง และของเหลวสามารถดูดซับและหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

โดยทั่วไปกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จะส่งผลให้เกิดฝุ่นละอองหลายขนาดตั้งแต่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไปจนถึงฝุ่นละอองขนาดเล็กระดับไมครอน ซึ่งฝุ่นละอองดังกล่าวอาจมีการปนเปื้อนของสารพิษทั้งที่อยู่ภายในชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สารหน่วงการติดไฟ (flame retardant) สารพีซีบี (polychlorinated biphenyl, PCBs) สารโลหะหนัก รวมถึงสารมลพิษที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สารไดออกซินและฟิวแรน สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2.4 ความเป็นพิษของโลหะหนักในฝุ่นละออง

สารโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมในขยะอิเล็กทรอนิกส์ อาจรั่วไหลลงสู่แหล่งดินและน้ำ ปนเปื้อนในอากาศ สารพิษจะสามารถสะสมได้ในสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้จำแนกสารอันตราย และผลกระทบด้านต่างๆ ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (กระทรวงสาธารณสุข, 2558) ดังนี้

1. ตะกั่ว (lead) เป็นส่วนประกอบในการบัดกรีแผ่นวงจรพิมพ์ หลอดภาพรังสีแคโทด เป็นต้น โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจะไปทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ระบบโลหิต การทำงานของไต การสืบพันธุ์และมีผลต่อการพัฒนาสมองของเด็ก และทำลายระบบประสาท ระบบเลือดและระบบสืบพันธุ์ในผู้ใหญ่ นอกจากนี้ พิษจะสามารถสะสมได้ในสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลเฉียบพลัน หรือแบบเรื้อรังได้ในพืชและสัตว์ สารตะกั่วถูกจัดว่าเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งกลุ่ม 2A (IARC, 2006)

2. แคดเมียม (cadmium) พบในแผ่นวงจรพิมพ์ ตัวต้านทาน วัสดุกึ่งตัวนำ (semi-conductors) หลอดภาพรังสีแคโทด (CRT) อุปกรณ์ตรวจจับอินฟราเรด (infrared detectors) ซึ่งสารนี้จะสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะที่ไต ทำลายระบบประสาท ส่งผลกระทบต่อพัฒนาการและการมีบุตร หรืออาจมีผลกระทบต่อพันธุกรรม แคดเมียมสามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมและมีความเป็นพิษสูง พิษอย่างเฉียบพลันเกิดจากการสูดไอของโลหะแคดเมียมเข้าไป ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ ความเป็นพิษเรื้อรัง แคดเมียมจะไปสะสมที่กระดูก ทำให้กระดูกผุ เมื่อได้รับแคดเมียมสะสมมากๆ จะสังเกตเห็นวงสีเหลืองที่โคนของซี่ฟัน ซึ่งจะขยายขึ้นไปเรื่อยๆ จนอาจเต็มซี่ ถ้าขนาดของวงยิ่งกว้างและสียิ่งเข้ม

แสดงว่ามีแคดเมียมสะสมมาก แคดเมียมออกไซด์ถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ นอกจากนี้ ยังทำอันตรายต่อไต ทำให้สูญเสียประสาทการดมกลิ่นและทำให้เลือดจาง ถ้าได้รับปริมาณมากในระยะเวลายาวนานๆ จะมีอาการจับไข้ ปวดศีรษะ อาเจียน อาการนี้จะเป็นได้นานถึง 20 ชั่วโมง แล้วตามด้วยอาการเจ็บหน้าอก และไอรุนแรง (อรรณ และศุภพร, 2553)

3.ปรอท (mercury) พบในตัวตัดความร้อน สวิตช์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และมอนิเตอร์ LCD (liquid crystal display) ปรอทเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถระเหยกลายเป็นไอและแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ และจะตกตะกอนลงสู่ดินและแหล่งน้ำได้เมื่อฝนตก สารปรอทนั้นเมื่ออยู่ในดินจะถูกเปลี่ยนเป็น methyl mercury โดยจะส่งผลในการทำลายอวัยวะต่างๆ รวมทั้งสมอง ไต และเด็กในครรภ์มารดาได้ และถ้าลงสู่แหล่งน้ำจะเปลี่ยนรูปและตกตะกอน ซึ่งสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ง่าย และจะสะสมต่อไปตามห่วงโซ่ พืชของปรอทมีตั้งแต่ชั้นเล็กน้อยจนถึงรุนแรงและอาจเสียชีวิต โดยอาจทำให้เกิดอาการใจสั่น นอนไม่หลับ ปวดศีรษะ สายตาพร่ามัว เดินเซ พูดจาไม่ชัด อ่อนเพลีย และอาจทำลายระบบประสาท ส่งผลต่อการเรียนรู้ กระบวนการคิด ความจำ สมาธิ และการสื่อสาร การสะสมของสารชนิดนี้ในร่างกายในปริมาณสูงจะส่งผลต่อไต ระบบการหายใจ และอาจถึงขั้นเสียชีวิต (จิราภรณ์, 2543) พืชของปรอทอาจส่งผลกระทบต่อพัฒนาของทารกในครรภ์ และยังพบว่าปรอทจะถูกสะสมอยู่ในน้ำนมแม่ด้วย

4.โครเมียม (chromium) ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นโลหะเคลือบสังกะสี ใช้ผสมกับโลหะทำให้เกิดความแข็งแรงมีความเหนียวทนทาน ทำให้โลหะไม่เป็นสนิมทนต่อการผุกร่อน การสูดหายใจเอาฝุ่นละอองหรือควันของกรดโครมิกจะทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ แผ่นกั้นระหว่างจมูกซึ่งเป็นกระดูกอ่อนถูกทำลาย โครเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนเป็น trivalent chromium ซึ่งสามารถจับกับโปรตีน ส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย สารประกอบเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (hexavalent chromium, Cr^{6+}) ทุกชนิด มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง ทำให้ดีเอ็นเอเสียหาย การได้รับสารเฮกซะวาเลนต์โครเมียม จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง เป็นโรคหืดหอบ โรคระบบทางเดินหายใจ ทำให้เยื่อแก้วหูเป็นรู ปอด ตับ ไต ลำไส้ ถูกทำลายมีอาการบวม น้ำ เจ็บแสบระบั้งลมหรือลื่นปี่ ทำให้ฟันเปลี่ยนสี และอาจทำให้เกิด pulmonary congestion และถ้าได้รับเป็นเวลานานๆ จะทำให้เป็นมะเร็ง การสัมผัสกับฝุ่นละอองหรือสารละลายของกรดโครมิกทำให้ผิวหนังอักเสบ และทำให้เป็นมะเร็งที่ปอด (NIOSH, 2019)

5.เบริลเลียม (beryllium) พบในแผงวงจร (mother board) และคอนเนคเตอร์ (connector) ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ก่อให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อเมือกในระบบทางเดินหายใจ ไอ และหายใจลำบาก ผิวหนังอักเสบ เป็นไข้ ทำให้เกิดโรคปอดอักเสบ และเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

6.พลวง (antimony) ใช้เป็นสารหน่วงการติดไฟในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หลายชนิดความเป็นพิษคล้ายกับสารหนู (arsenic) พืชเหี้ยบพลันจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหารลำไส้ คลื่นไส้ อาเจียน และท้องร่วง พืชเรื้อรังจะมีอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร

คลื่นไส้ ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ ตับอาจถูกทำลาย นอกจากนี้ อาจมีอาการทางผิวหนัง ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของผิวหนัง ทำให้หนังดำน อาการรุนแรงอาจจะเป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนัง

7. เหล็ก (iron) อนุภาคของ Fe_2O_3 ในอากาศเกิดจากการให้ความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวกับวัสดุที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบทำให้เกิดเป็นละอองไอของเหล็ก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่อผู้ที่รับสัมผัส โดยผลกระทบแบบฉับพลันจะทำให้เกิดอาการเป็นไข้จากพิษของโลหะ (metal fume fever) และอาจเกิดผลกระทบแบบเรื้อรัง เช่น ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง รวมถึงโรคซิเดอโรซิส (Siderosis) ซึ่งเกิดจากการสะสมเหล็กในรูปของ Hematite และ Oxide ภายในเซลล์ (New Jersey Department of Health and Senior Services, 1998)

8. สังกะสี (zinc) ที่พบในอากาศส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ZnO , ZnS และ $ZnSO_4$ จากอุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การบัด ย่อยแร่ ส่วนประกอบรั้วบ้านหลังคา หรือวัสดุอื่นที่ใช้สังกะสีเป็นโลหะผสม นอกจากนี้ ยังเกิดจากสารประกอบของสังกะสีที่นำมาทำยาฆ่าเชื้อรา เช่น zinc dimethyl dithiocarbamate ผลที่เกิดต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วง ถ้าได้รับไอฝุ่นของ Zn เข้าร่างกายมาก ๆ จะเกิดอาการไข้ที่เรียกว่า Zinc chills ซึ่งมีอาการจับไข้ หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน

9. แมงกานีส (manganese) การสัมผัสแมงกานีสในรูปของฝุ่นเกิดขึ้นขณะทำงานเหมือง การบัดสินแร่ กระบวนการแยกโลหะจากสินแร่ กระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เช่น แบตเตอรี่แห้ง ตัวเติมน้ำมันเชื้อเพลิง ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อรา หมึกพิมพ์ สีย้อม ไม้ขีดไฟ ฯลฯ ขณะที่ไอสารแมงกานีสที่เกิดขึ้นระหว่างการแยกสินแร่และการเชื่อมในหลายลักษณะเป็นแหล่งสำคัญที่ผู้ปฏิบัติงานมีแนวโน้มจะสัมผัสทางหายใจในปริมาณมาก ชนิดและขนาดของลวดเชื่อม หัวเชื่อม ตัวประสาน และชนิดโลหะที่ทำการเชื่อม เป็นตัวแปรหลักในการกำหนดปริมาณของไอสารแมงกานีสที่เกิดขึ้นและสัมผัสตัวคนงาน รวมทั้งการเชื่อมในที่อับอากาศจะมีไอสารแมงกานีสเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ISHN, 2014) เมื่อร่างกายได้รับพิษของแมงกานีสในปริมาณสูงและในระยะเวลาสั้นเกินความต้องการของร่างกาย จะแสดงอาการเฉียบพลันโดยจะมีอาการไข้ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดเมื่อยลำตัว หลอดลม และปอดอักเสบ ถ้าหากร่างกายได้รับแมงกานีสในลักษณะเกิดการสะสม จะแสดงอาการเรื้อรัง คือจะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร ง่วง มึนงง น้ำตาไหล ปวดกล้ามเนื้อ อาจหัวเราะหรือร้องไห้เป็นพัก ๆ สมรรถภาพทางเพศเสื่อมลง พุดซ้าและติดขัด กล้ามเนื้อตึง ไม่รับรู้ความรู้สึกใด ๆ อาจเป็นอัมพาตที่ปลายเท้า ทำให้เวลาเดินขาจะแกว่ง ไม่สามารถทรงตัวได้

10. ทองแดง (copper) ส่วนมากพบทั้งในรูปไอ และเกลือของทองแดง เนื่องจากการหลอมโลหะทองแดง ทองเหลือง การเชื่อมและบัดกรีโลหะโดยใช้โลหะผสมของทองแดง ซึ่งโทษทำให้เกิดการระคายเคืองและอักเสบที่ตา ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหารและประสาทสัมผัสเสีย ถ้าร่างกายได้รับไอทองแดงมาก ๆ จะทำให้เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน เป็นไข้จากพิษของโลหะ อาจทำให้ผิวหนังและผมเปลี่ยนสีได้ ถ้าได้รับในปริมาณมาก ทำให้เนื้อเยื่อจมูกอักเสบ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง

11. นิกเกิล (nickel) การรับพิษของนิกเกิลสามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านทางหายใจ และการสัมผัสบริเวณผิวหนัง ไอของโลหะนิกเกิลและสารประกอบเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจะทำให้เกิดการระคายเคือง และอาการปอดอักเสบ หากมีการสัมผัสผ่านทางผิวหนังจะทำให้เกิดผื่นคัน และมีรายงานว่านิกเกิลเป็นสารก่อมะเร็งในปอดและโพรงจมูก พิษเฉียบพลันของนิกเกิลจะทำให้เกิดอาการปวดหัว วิงเวียน หายใจชาลง และอาเจียน โดยอาการดังกล่าวจะหายไปเมื่อได้รับอากาศบริสุทธิ์ พิษในระยะยาวของนิกเกิลจะเกิดเมื่อได้รับสัมผัสนิกเกิลเป็นเวลานานตั้งแต่ 12 ถึง 36 ชั่วโมง พบอาการหายใจชาลง ผิวหนังเป็นสีน้ำเงิน ไข้สูง มีอาการแพ้ และอาจถึงขั้นเสียชีวิต (NIOSH, 2011)

2.5 ความเป็นพิษของสาร PAHs ในฝุ่นละอองจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

PAHs เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์เกิดจากวงเบนซีน 2 วงหรือมากกว่า หลอมรวมกันแบบเชิงเส้น เชิงมุม หรือเกาะเป็นกลุ่ม ความแตกต่างของการจัดเรียงของแหวนทำให้เกิดสารประกอบมากกว่า 200 ชนิด PAHs อยู่ในถ่านหิน น้ำมันดิน น้ำมันดิบ รวมถึงเกิดจากฝีมือมนุษย์ โดยการให้ความร้อน และการสร้างพลังงาน เช่น แก๊ส ถ่านหิน น้ำมัน ไม้ กระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม การเผาขยะ จากเครื่องยนต์ และแหล่งอื่น ๆ เช่น การทำอาหาร การสูบบุหรี่ PAHs สามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้โดยทางอาหารที่รับประทาน น้ำที่ดื่ม และอากาศจากการหายใจ จากควันบุหรี่ หรือการสัมผัสวัตถุที่มี PAHs อยู่ PAHs เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ โดยเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งผิวหนัง ปอด และระบบทางเดินหายใจ ส่งผลต่อการสืบพันธุ์ และสามารถส่งผลกระทบต่อระบบประสาทและระบบอื่นๆ ในอากาศ PAHs อยู่ในสถานะก๊าซและอนุภาคตามความสามารถในการระเหย PAHs สามารถรวมกับอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน สามารถเข้าสู่ปอดเมื่อมนุษย์หายใจและก่อให้เกิดมะเร็งปอด (ปาจารย์ และคณะ, 2556) โดยสาร PAHs ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดในขั้นตอนที่มีการใช้ความร้อนในการคัดแยก เช่น การเผาสายไฟเพื่อแยกทองแดง และการตัดชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยความร้อน

2.5.1 การเกิดสาร PAHs

แหล่งกำเนิด PAHs สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 แหล่ง (พงค์เทพ, 2562) คือ

1. เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural sources) เป็นแหล่งที่เกิด PAHs ขึ้นเองโดยไม่ได้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ไฟไหม้ป่า และภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น

2. เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic sources) อาจเกิดจากอาคารบ้านเรือน และที่อยู่อาศัย เช่น การประกอบอาหาร รวมถึงการสูบบุหรี่ เป็นต้น แหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานถ่านหิน โรงไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล แหล่งกำเนิดจากการคมนาคมขนส่ง ได้แก่ ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ รวมถึงการเผาหญ้า เผาขยะ และกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์บางประเภทที่ต้องอาศัยกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้เป็นกิจกรรมที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ ตัวอย่าง PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่าง PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (ATSDR, 1995)

แหล่งที่มา (Sources)	PAHs predominant
การเผาไหม้จากยานที่พิกอาศัย	Acenaphthylene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปฝุ่น	Fluoranthene, Phenanthrene, Pyrene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปก๊าซ	Phenanthrene, Anthracene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปฝุ่นและก๊าซ	Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene
ถ่านล้อย และถ่านหนัก	Phenanthrene
เตาเผาขยะเทศบาล	Benzo(g,h,i)perylene
เตาเผาขยะชุมชน	Fluoranthene, Benzo(a)fluoranthene, Benzo(g,h,i)perylene, Indeno(1,2,3-c,d)pyrene, Phenanthrene, Chrysene
การใช้แก๊สจากบ้านเรือน	Chrysene, Pyrene, Fluoranthene
ควันบุหรี่	Benzo(a)pyrene
น้ำมันดิน (coal tar pitch)	Phenanthrene, Pyrene
การเผาไหม้ฟางข้าว	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene

2.5.2 ผลกระทบ PAHs ต่อสิ่งมีชีวิต

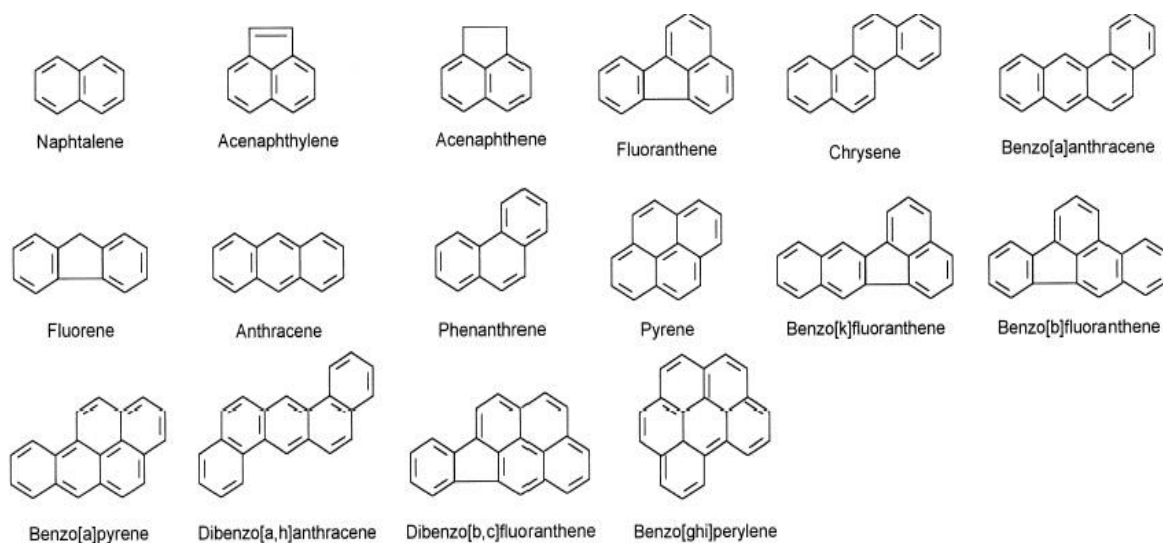
1. สารก่อมะเร็ง (carcinogen) จากการศึกษากับมนุษย์มีข้อมูลพบว่าการได้รับ PAHs จากการหายใจ และการสัมผัสทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ จากการศึกษาหนูที่ได้รับ PAHs Benzo(a)pyrene 308 ppm ในอาหารเป็นเวลา 10 วัน ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับการหายใจ ส่วนหนูที่ได้รับ Benzo(a)pyrene 923 ppm ในอาหารเป็นเวลา 1 เดือนจะมีปัญหาเกี่ยวกับการดำรงชีวิตและเลือด (ปาจารย์ และคณะ, 2556) โดยสารประกอบ PAHs จะจัดเป็นสารก่อมะเร็งหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของสาร PAHs U.S. EPA ได้กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิดที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่ก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2. สารก่อกลายพันธุ์ (mutagenicity) สาร PAHs ชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็ง จะออกฤทธิ์เป็นสารก่อกลายพันธุ์ด้วย โดยมีรายงานว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มี PAHs ในระหว่างตั้งครรภ์ทำให้คลอดลำบาก และลูกที่เกิดมามีโอกาสไม่สมบูรณ์ และมีน้ำหนักตัวน้อย การศึกษาในสัตว์พบว่า PAHs เป็นอันตรายกับผิวหนัง ของเหลวในร่างกาย และทำให้ความสามารถในการต้านทานโรคน้อยลง หลังจากได้รับ PAHs ทั้งในระยะยาวและระยะสั้น (ปาจารย์ และคณะ, 2556)

3. ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxicity) สาร PAHs ส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อการทำงานของระบบประสาท แต่ Naphthalene มีรายงานว่าทำให้เกิดอาการทางประสาทในเด็กทารก โดย

รบกวนการสื่อสารระหว่างเซลล์ สามารถเข้าไปจับกับโมเลกุลของดีเอ็นเอ ปอด ยับยั้งกระบวนการหายใจที่ไม่โตคอนเดรีย เป็นพิษต่อระบบประสาท การศึกษาทางการแพทย์พบว่าในร่างกาย PAHs ถูกเปลี่ยนองค์ประกอบเคมีเมื่อมันสัมผัสกับสารในร่างกาย เช่น เนื้อเยื่อในร่างกาย หรือเม็ดเลือด

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า สาร Benzo(a)pyrene สามารถส่งผลให้เกิดความผิดปกติในระบบสืบพันธุ์ (reproductive toxicity) ส่งผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนในครรภ์ (embryotrope action) ทำให้เกิดความผิดปกติของทารก (teratogenicity) และมีความเป็นพิษต่อระบบภูมิคุ้มกันอย่างรุนแรง (immunitoxicity)



รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างของสาร PAHs 16 ชนิด ที่อยู่ในรายชื่อสารก่อมะเร็งของ U.S. EPA ที่มา: US EPA (2008)

2.6 การประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยหรือสถานการณ์ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดอันตรายจากการปฏิบัติงาน รวมถึงก่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อผู้ปฏิบัติงานและบุคคลอื่นในบริเวณรอบข้าง เช่น การระเบิด การรั่วไหลของสารเคมี และการรับสัมผัสสารที่เป็นพิษต่อร่างกาย เป็นต้น หลักการโดยทั่วไปในการประเมินความเสี่ยงจากการทำงานจะเป็นการระบุลำดับความอันตรายระหว่างการปฏิบัติงาน (เบญจวรรณ, 2558) ซึ่งการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยกระบวนการที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการนับเป็นการเพิ่มความเสี่ยงระหว่างการปฏิบัติงานให้เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะความเสี่ยงจากการสัมผัสโลหะหนัก (heavy metals) และสารพีเอเอช (PAHs) ที่เกิดจากการตัดแยกด้วยมือ การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง

2.6.1 การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสกับโลหะหนัก

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ คือ เศษซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยโลหะหนัก และสารที่เป็นอันตราย รวมถึงความเป็นพิษ และอันตรายจากการสัมผัสกับสารเหล่านี้ จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่มักปนเปื้อนอยู่กับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังเช่น งานวิจัยของอรชร และธันวดี (2560) ที่ได้ทำการเก็บฝุ่นละอองในชุมชนเกษตรกรรมจังหวัดสุโขทัย เพื่อนำมาวิเคราะห์โลหะหนัก และพบว่าฝุ่นละอองมีการปนเปื้อนของเหล็กมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม ตามลำดับ โดยเบญจวรรณ (2558) ได้ดำเนินการประเมินความเสี่ยงของประชากรในจังหวัดราชบุรีจากการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากอุตสาหกรรมแปรรูปหินปูนและเครื่องปั้นดิน และพบว่าในฤดูแล้งความเข้มข้นของโลหะที่ปนเปื้อนในฝุ่นละอองจะมีค่ามากกว่าในฤดูฝน นอกจากนี้ Ruan *et al.* (2016) ยังได้ทำการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสกับโลหะหนักในฝุ่นละอองจากกระบวนการคัดแยกเศษโทรศัพท์ตามวิธีการของ US EPA (1992) ซึ่งพบว่ากระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่ว และสังกะสีในฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน และ 2.5 ไมครอน ในระดับที่มากกว่าค่าอ้างอิง (Reference Dose, RfD) อย่างน้อย 10 เท่า

สรุปได้ว่าโลหะหนักส่วนใหญ่จะปนเปื้อนอยู่กับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ลักษณะหรือกิจกรรมการทำงาน รวมถึงสภาพอากาศ ซึ่งการประเมินความเสี่ยงจะใช้วิธีที่ได้รับการยอมรับ ได้แก่ วิธีการของ US EPA จาก การคำนวณในรูปของ Average daily dose (ADD_{inh}) โดยการเทียบกับค่าโลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือระดับอ้างอิง (Reference Dose, RfD) ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2.1)$$

เมื่อ ADD_{inh}	=	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักที่ได้รับในแต่ละวัน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)
C	=	ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในอากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
InhR	=	อัตราการหายใจของคนงาน
ET	=	ระยะเวลาการสัมผัสโลหะหนักบนฝุ่นละอองในอากาศ
EF	=	ความถี่ในการสัมผัส
ED	=	ช่วงเวลารับสัมผัส
BW	=	น้ำหนักตัวเฉลี่ย
AT	=	เวลาเฉลี่ยที่รับสัมผัส

$$HQ = \frac{ADD_{inh}}{RfD} \quad (2.2)$$

- เมื่อ HQ = สัดส่วนความเสี่ยงอันตราย
 ADD_{inh} = ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักที่ได้รับในแต่ละวัน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)
 RfD = ปริมาณของโลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)

2.6.2 การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสกับสาร PAHs

นอกจากความเสี่ยงที่ได้รับจากการสัมผัสกับโลหะหนักแล้ว กระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการใช้ความร้อน เช่น การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ ยังก่อให้เกิดสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) ในรูปแบบของไอระเหย และการปนเปื้อนกันฝุ่นละออง ดังเช่น งานวิจัยของ ญัฐชัย และคณะ (2559) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงของพนักงานที่สัมผัสกับสาร PAHs จากการทำงานในโรงงานหลอมกระป๋องตามวิธีการของ US. EPA และพบว่าพนักงาน 16 คน จาก 24 คน มีความเสี่ยงจากการสัมผัสกับสาร PAHs สูงกว่าระดับความเสี่ยงของสารเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ไม่เพียงแต่กิจกรรมในระบบปิดของโรงงานอุตสาหกรรมจะก่อให้เกิดสาร PAHs กิจกรรมจากการทำความร้อนในที่เปิดโล่งบางกิจกรรมก็ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของ PAHs ในฝุ่นละอองได้เช่นกัน เช่น การเผาขยะ การสูบบุหรี่ ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ และการเผาวัสดุทางการเกษตร ตัวอย่างคือ ปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นในภาคเหนือของประเทศไทย ปาจารย์ และคณะ (2556) ศึกษาปริมาณ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ช่วงที่เกิดหมอกควันในจังหวัดเชียงใหม่จากเผาป่า เผาข้าวโพด เผาฟางข้าว และฝุ่นถนน โดยพบว่าในเดือนที่มีปัญหาหมอกควัน ความเข้มข้นของ PAHs ชนิด BaP จะสูงกว่าในเดือนที่ไม่มีปัญหาหมอกควัน เนื่องจากมีกิจกรรมการเผาวัสดุทางการเกษตร ส่งผลให้ BaP ปนเปื้อนมากับการเผาไหม้ โดยการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสกับสาร PAHs จะดำเนินการตามวิธีของ US. EPA จากการคำนวณความเข้มข้นสาร PAHs แต่ละตัวให้อยู่ในรูปของ benzo(a)pyrene equivalent ($B[a]P_{eq}$) เพื่อนำมาประเมินค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิต หรือ Lifetime lung cancer risk (Jung *et al.*, 2010) ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4)

$$\sum B[a]P_{eq} = \sum_{i=1}^n (C_i \times TEF_i) \quad (2.3)$$

- เมื่อ $\sum B[a]P_{eq}$ = สมบูรณ์รวมของ benzo(a)pyrene
 C_i = ความเข้มข้นของ PAH_i (ng/m^3)
 TEF_i = Toxic equivalent factor ของ PAH_i

$$ECR = \sum B_{[a]} P_{eq} \times UR_{B_{[a]}P} \quad (2.4)$$

เมื่อ ECR = ความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งจากการหายใจรับสารพิษที่มากเกินไป
 $\sum B_{[a]} P_{eq}$ = สมบูรณ์รวมของ benzo(a)pyrene
 $UR_{B_{[a]}P}$ = หน่วยของความเสียหาย มีค่าเท่ากับ 8.7×10^{-5}

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bi et al. (2010) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคที่เกิดจากการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์จำพวกแผงวงจร (printed circuit boards) ในเมือง Guiyu ประเทศจีน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม (TSP) ด้วยเครื่อง High Volume Air Sampler ในระหว่างการทำงานแยกชิ้นส่วนแผงวงจรด้วยการเผาบนเตาถ่าน (stoves burning honeycombed) นำมาวิเคราะห์สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,430 \mu\text{g}/\text{m}^3$ พบองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ 48% ธาตุต่างๆ 2.5% ไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ 3.2% และสารที่ไม่สามารถระบุประเภทได้ 41% สารอินทรีย์ที่พบมากที่สุดคือ mono-alkylphenyldiphenyl phosphates (C1-TPPs) รองลงมาคือ tri-alkylphenyl phosphates (C3-TPPs) และ di-alkylphenylphenyl phosphates (C2-TPPs) โดยพบธาตุฟอสฟอรัสมีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ แคลเซียม และเหล็ก ตามลำดับ

Deng et al. (2006) ศึกษาความเข้มข้นสาร PAHs และ โลหะหนัก ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน จากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในเมือง Guiyu ประเทศจีน โดยโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้แก่ Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Ni และ As พบว่าโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงสุดในฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน คือ โครเมียมมีความเข้มข้น 1,161 และ 1,152 ng/m^3 ในขณะที่สาร PAHs ในฝุ่นละอองรวม และฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน มีปริมาณเท่ากับ 148 และ 102 ng/m^3 โดยพบ B(b,k)F มากที่สุด รองลงมาคือ IP และ BP ตามลำดับ

Dimitrakakis et al. (2009) วิเคราะห์สารประเภทโลหะหนักและฮาโลเจนในฝุ่นละอองจากพลาสติกที่เกิดจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในเมือง Gorbitz, Dolszchen และ Striesen ประเทศเยอรมนี ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF พบว่ามีปริมาณ Ti เป็นองค์ประกอบมากที่สุด (8,000 mg/kg) รองลงมาคือ Br (5,300 mg/kg) และ Sb (2,000 mg/kg) ตามลำดับ ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS สามารถวิเคราะห์โลหะหนักได้เพียง 3 ชนิดคือ Pb, Cd และ Cr ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 17.41, 5.71 และ 8.38 mg/kg ตามลำดับ

Julander et al. (2014) ศึกษาความเสี่ยงในการรับสัมผัสของคนงานในโรงงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศสวีเดน ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาการทำงานโดยใช้ 25 mm filter cassette และ 37 mm open-face millipore cassette นำมาวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ได้แก่ Sb, As, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Ga, In, Fe, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni, Pt, Tl, W, V และ Zn โดยพบว่าในสถานที่ปฏิบัติงานมีความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดสูงกว่าในสำนักงาน โดยเฉพาะเหล็กมีความเข้มข้นสูงถึง $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Leung et al. (2008) ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นบนพื้นถนนในหมู่บ้านที่มีการประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเภทแผงวงจร (printed circuit boards) มากกว่า 10 ปี ในเมือง Guiyu ประเทศจีน โดยศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักดังต่อไปนี้ Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn พบว่า ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล มีความเข้มข้นสูงในบริเวณสถานที่ทำงาน โดยมีความเข้มข้น 110,000, 8,360, 4,420 และ Ni ,1500 mg/kg ตามลำดับ และความเข้มข้นฝุ่นในถนนหมู่บ้านมีความเข้มข้นของตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และนิกเกิลเท่ากับ 22,600, 6,170, 2,370 และ 304 mg/kg ตามลำดับ

Ruan et al. (2015) ทำการศึกษาความเสี่ยงในการรับสัมผัสเสียง และโลหะหนัก ภายในโรงงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเภทโทรทัศน์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (manual dismantling) และการคัดแยกโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติ (semi-automatic dismantling) ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม (TSP) PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่าง พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน และความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือสูงกว่าการคัดแยกโดยใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติ และพบความเข้มข้นของตะกั่ว และสังกะสี สูงในตัวอย่างฝุ่นละออง เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงพบว่าเสียง และโลหะหนักที่เกิดระหว่างกระบวนการคัดแยกเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

Jenkins et al. (2005) ทำการศึกษาการแพร่กระจายของอนุภาคที่เกิดจากการใช้ก๊าซในการตัด เชื่อมโลหะ โดยเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง 8 stage cascade impactor พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองจากการตัดโลหะโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรสูง โดยพบการกระจายตัวของฝุ่นละอองแบบ Bimodal distribution โดยมีพีคหลักในช่วงฝุ่นละอองสะสม (Accumulation mode) และพีครองในช่วงฝุ่นละอองหยาบ (Coarse mode)

Gullett et al. (2007) ทำการศึกษาการปล่อยอนุภาคในอากาศ และซึ้เข้า จากการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์แบบเปิด (open burning) โดยพบว่า การเผาแผงวงจร ทำให้เกิดอนุภาคฝุ่นละอองขนาดน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร โดยโลหะหนักที่พบในฝุ่นละออง คือ Br, Pb, Sn, Cu, As และ Sb โดยตะกั่วมีความเข้มข้นสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานถึง 200 เท่า สำหรับการเผาสายไฟพบว่าขนาดอนุภาคฝุ่นละอองมีขนาดที่ใหญ่กว่า และ และกว่า 1 ไมโครเมตร โดยโลหะหนักที่พบในฝุ่นละออง คือ Fe, Cl, Pb, Cu, และ Sb

Huang *et al.* (2016) ทำการศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการสัมผัสฝุ่นละออง และโลหะหนัก ภายในพื้นที่โดยรอบบริเวณที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศจีน โดยศึกษาสัดส่วนของอนุภาคฝุ่นละอองและโลหะหนัก พบว่า Zn, Se, Pb, Sb, As, และ Cd มีความเข้มข้นสูงในฝุ่นละเอียด (Fine particle; $D_p < 1.8 \mu\text{m}$) ในขณะที่ Ti, Fe, และ Co พบว่ามีความเข้มข้นสูงในฝุ่นละอองหยาบ (Coarse particle; $D_p > 1.8 \mu\text{m}$) เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพโดยใช้ความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านทางหายใจ (HQ) พบว่า เด็ก และผู้ใหญ่มีความเสี่ยงที่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ($HQ > 1$) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผู้อยู่อาศัยโดยรอบแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพต่อการรับสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองผ่านทางหายใจทั้งในเด็ก และผู้ใหญ่

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8-stage cascade impactor), บริษัท Thermo Andersen ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่อง Calibrator, Defender™ 500 Series, บริษัท TISCH Environmental, ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAS-200 บริษัท PerkinElmer, ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่อง Gas Chromatograph รุ่น 6830 N และ Mass Spectrophotometer รุ่น 5973N, บริษัท Agilent Technologies, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. HP 5 capillary column ขนาด 30 m × 0.25 mm I.D. × 0.25 (film thickness), บริษัท J&W Scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องชั่งละเอียด 5 ตำแหน่ง รุ่น Satorius BA 210 บริษัท Scientific Promotion ประเทศญี่ปุ่น
7. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น TC-254, บริษัท Denver Instrument Company, ประเทศเยอรมนี
8. เครื่อง Ultrasonicator รุ่น 208H บริษัท Ney ULTRASONIK, ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary vacuum evaporator) รุ่น N-N series บริษัท Tokyo Rikakikai, ประเทศญี่ปุ่น
10. ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator auto dry box)
11. Bound Elute C-18, 500 mg 3 ml, บริษัท Varian, ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. กระดาษกรองใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาด 0.81 มิลลิเมตร บริษัท Toyo Roshi Kaisha, ประเทศญี่ปุ่น
13. คีมคีบปากแบน (Forceps) พลาสติก
14. ที่ตัดพีชซ่า
15. ถุงมือพลาสติก
16. ชามระเหย
17. เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 สารเคมี

1. กรดไนตริก 65% (HNO₃) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. กรดไฮโดรคลอริก 37 % (HCl) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี

3. อะซิโตนไนไตรต์ 99.5% (CH₃CN) เกรด HPLC, บริษัท Fisher Scientific, ประเทศเยอรมนี
4. ไดคลอโรมีเทน 99.5% (CH₂Cl₂) เกรด HPLC, บริษัท Fisher Scientific, ประเทศเยอรมนี
5. เฮกเซน 99.5% (C₆H₁₄) เกรด HPLC, บริษัท Lab Scan, ประเทศไทย
6. สารละลายมาตรฐานเหล็ก (Iron standard solution), บริษัท Panreac, E.U.
7. สารละลายมาตรฐานทองแดง (Copper standard solution), บริษัท Scharlab S.L., ประเทศสเปน
8. สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Chromium standard solution), บริษัท MERCK, ประเทศเยอรมนี
9. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Lead standard solution), บริษัท Ajax Finechem, ประเทศนิวซีแลนด์
10. สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cadmium standard solution), บริษัท VWR International, ประเทศอังกฤษ
11. สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zinc standard solution), บริษัท Ajax Finechem, ประเทศนิวซีแลนด์
12. สารละลายมาตรฐานนิกเกิล (Nickel standard solution), บริษัท MERCK, ประเทศเยอรมนี
13. สารละลายมาตรฐานแมงกานีส (Manganese standard solution), บริษัท Fisher Scientific, ประเทศอังกฤษ
14. พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 PAHs Mix Calibration Standard in CH₂Cl₂, บริษัท Restex, ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. ก๊าซฮีเลียม 99.999%, บริษัท Praxair, ประเทศไทย
16. ก๊าซไนโตรเจน 99.99%, บริษัท Praxair, ประเทศไทย

3.3 จุดเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่เกิดจากการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทำการเก็บจากร้านค้าของเก่า 2 แห่ง จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือจากร้านค้าของเก่าในชุมชนซอยเสือใหญ่อุทิศ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร และจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนจากร้านค้าของเก่าในตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บริเวณที่ตั้งจุดเก็บตัวอย่าง (ก) ร้านขายของเก่าในเขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร และ (ข) ร้านของเก่าในตำบลสำโรงเหนือ จังหวัดสมุทรปราการ



รูปที่ 3.2 ลักษณะจุดเก็บตัวอย่าง ที่ 1 (ก) ในชุมชนซอยเสือใหญ่อุทิศ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ลักษณะจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 (ข) ในตำบลสำโรงเหนือ จังหวัดสมุทรปราการ

ลักษณะของจุดเก็บตัวอย่างในงานวิจัยมีความแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3.2

1) จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยมือ โดยแบ่งจุดเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 บริเวณ ได้แก่

- ร้านค้าของเก่าขนาดเล็กมีลักษณะเป็นเพิงสังกะสีมีพื้นที่ทำงานแคบและอับลม ตั้งอยู่ในบริเวณชุมชนแออัดที่เป็นแหล่งตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานเป็นการทำในบริเวณเดียวกับที่อยู่อาศัย และมีลักษณะงานเป็นการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เพียงอย่างเดียว

- โรงเรียนบริเวณใกล้กับชุมชน ห่างจากร้านค้าของเก่าๆ ลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียว จุดเก็บตัวอย่างเป็นพื้นที่สำหรับดำเนินกิจกรรมของโรงเรียน ซึ่งเป็นพื้นที่เปิดแบบมีหลังคา

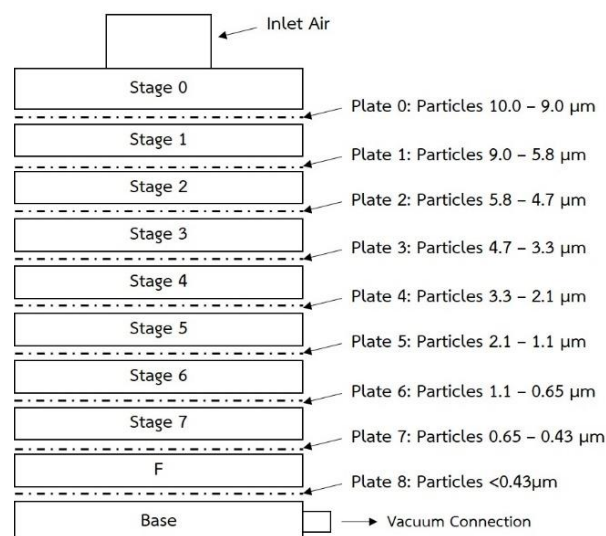
2) จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดโลหะด้วยความร้อน เป็นร้านค้าของเก่าขนาดใหญ่มีลักษณะเป็นหลังคาสูง และมีสถานที่แยกเก็บชิ้นส่วนของเก่าที่จะนำไปขาย

บริเวณการทำงานเป็นลานกว้างมีลมพัดตลอดเวลา ด้านข้างและด้านหลังเป็นที่ดินเปล่า ด้านหน้าติดถนนมีรถยนต์ผ่านเข้าออกเพื่อนำของเก่ามาขาย ลักษณะงานมีการจ้างคนงานและมีของเก่าทุกประเภทรวมถึงขยะอิเล็กทรอนิกส์

3) จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 สำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมการเผาสายไฟ ทำการทดสอบและเก็บตัวอย่างในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเผาสายไฟกลางแจ้งบนดาตฟ้าอาคารจุฬารัตน์ด้วยลักษณะ 1 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เนื่องจากการเผาสายไฟจะลักลอบเผาในเวลากลางวัน

3.4 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

- เตรียมกระดาษกรอง Quartz fiber filter ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81 มิลลิเมตร โดยเผากระดาษกรองที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงเพื่อไล่สารอินทรีย์ และอบไล่ความชื้นในตู้ดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นจนน้ำหนักคงที่ตามวิธีมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ (2546)
- วางกระดาษกรองแต่ละชั้นลงบนแผ่นเพลตวงกลม ต่อชุด Impactor ในแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน โดยเริ่มจาก stage F ตามด้วย stage7 จนถึงหัวเก็บตัวอย่าง Inlet แต่ละชั้นจะมี O-ring ป้องกันการรั่วไหลของอากาศ จากนั้นใช้สปริงยึดแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3
- ต่อชุด Impactor เข้ากับปั๊มเก็บตัวอย่าง สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มที่ 28.3 ลิตรต่ออนาที โดยต่อสาย Tygon เข้ากับปั๊มและเครื่อง Calibrator Defender 500 และ Impactor ดังแสดงในรูปที่ 3.4
- บันทึกอัตราการไหล 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย โดยสอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.3 ลักษณะเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8 ชั้น (8-stage cascade impactor)



รูปที่ 3.4 การต่อเครื่องสอบเทียบอัตราการไหลเข้ากับ 8-stage cascade impactor

3.5 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศการทำงานตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

3.5.1 การเก็บฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้เครื่อง 8-stage cascade impactor ในบรรยากาศการทำงานตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตู้เย็น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ เครื่องซักผ้า และพัดลม เก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทำงานต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง ระหว่างเวลา 9.00 น. - 15.00 น. โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากร้านขายของเก่าในเขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในระหว่างวันที่ 6-10 เมษายน และ 20-22 เมษายน พ.ศ. 2558 โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในวันที่ไม่มีกิจกรรมการทำงานวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2558 และตัวอย่างฝุ่นละอองจากโรงเรียนบริเวณใกล้เคียงในวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2558 มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างกระดาษกรอง Quartz filter fiber ตามหัวข้อ 3.4 ข้อ 1
2. ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น 8-stage cascade impactor ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.4 ข้อ 2
3. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย
4. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย 8-stage cascade impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อ นาที ในบริเวณที่มีการทำงานโดยติดตั้งเครื่องให้มีความสูงประมาณ 1 เมตร ที่ระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน (ในขณะที่นั่งทำงานบนพื้น)
5. บันทึกเวลาและข้อมูลตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์ ในขณะที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง
6. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มหลังเก็บตัวอย่างฝุ่นจำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

7. สวมถุงมือพลาสติกและใช้คีบคีบปากแบนคีบกระดากกรองออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ใส่ในเพลตพลาสติกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติกและปิดถุงให้สนิท และนำตัวอย่างกลับไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

8. อบกระดากกรองในตู้ดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) นำไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักฝุ่นและนำไปคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก) และเก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์โลหะหนักและพีเอเอช ต่อไป

9. ทำชุดควบคุมโดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในช่วงวันที่ไม่มีการมกราคมการทำงาน และเก็บตัวอย่างฝุ่นบริเวณโถงเรียนในวันที่มีการทำงาน โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 8

3.5.2 การเก็บฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการตัดโลหะด้วยความร้อน

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้เครื่อง 8-stage cascade impactor ในบรรยากาศในขณะที่มีการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยการตัดโลหะประเภท ท่อเหล็ก มอเตอร์ และชิ้นส่วนที่เป็นโลหะจากขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยการใช้ความร้อนและมีแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เก็บตัวอย่างจากร้านค้าของเก่า ในอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ระหว่างวันที่ 29 เมษายน 27 สิงหาคม และ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2558 และเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองในเวลาทำงานที่ไม่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนในวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2558 มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างกระดากกรอง Quartz filter fiber ตามหัวข้อ 3.4 ข้อ 1
2. ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น 8-stage cascade impactor ดังแสดงในหัวข้อ 3.4 ข้อ 2
3. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย
4. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย 8-stage cascade impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อ นาที ในบริเวณที่มีการทำงานโดยติดตั้งเครื่องให้มีความสูงประมาณ 1 เมตร ที่ระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาที่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน
5. บันทึกเวลาและข้อมูลอุณหภูมิ ความกดอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์ ในขณะที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง
6. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มหลังเก็บตัวอย่างฝุ่นจำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย
7. สวมถุงมือพลาสติกและใช้คีบคีบปากแบนคีบกระดากกรองออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ใส่ในเพลตพลาสติกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติก และปิดถุงให้สนิท และนำตัวอย่างกลับไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

8. ออบกระดาศกรองในตู้ดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) นำไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักฝุ่นและนำไปคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองต่อไป (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก)

9. ทำชุดควบคุมโดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในช่วงที่ไม่มีกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 8

3.5.3 การเก็บฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการเผาสายไฟเพื่อแยกทองแดง ในระดับห้องปฏิบัติการ

1. เก็บตัวอย่างสายไฟจากร้านขายของเก่าที่แยกออกจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้าแล้ว ชั่งน้ำหนักสายไฟให้ได้ 1 กิโลกรัม

2. เตรียมตัวอย่างกระดาศกรอง Quartz filter fiber ตามหัวข้อ 3.4 ข้อ 1

3. ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น 8-stage cascade impactor ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.4 ข้อ 2

4. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ ก่อนเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

5. ทำการติดไฟและเผาสายไฟน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่บริเวณศาลาฟ้าอาคารจุฬารามณ์วิทยาลัย ลักษณะ 1 คณะวิทยาศาสตร์ สจล. เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง 8-stage cascade impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที ในทิศปลายลมห่างจากจุดเผาสายไฟ 1.50 เมตร และติดตั้งเครื่องให้มีความสูง 1.50 เมตร ที่ระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน

6. บันทึกเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการเผาสายไฟ อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความเร็วและทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ ในขณะที่เริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง

7. สอบเทียบอัตราการไหลของปั๊มหลังเก็บตัวอย่างฝุ่นจำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

8. สวมถุงมือพลาสติกและใช้คีบคีบปากแบนคีบกระดาศกรองออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ใส่ในพลาสติกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติก และปิดถุงให้สนิท และนำตัวอย่างกลับไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

9. ออบกระดาศกรองในตู้ดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) นำไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักฝุ่นและนำไปคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองต่อไป (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก) ทำชุดควบคุมโดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในช่วงที่ไม่มีกิจกรรมเผาสายไฟ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 8

3.6 การวิเคราะห์สารโลหะหนักและสาร PAHs ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

3.6.1 การวิเคราะห์สารโลหะหนักที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาด

สกัดโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรองโดยดัดแปลงวิธี Compendium Method IO-3.2 (U.S. EPA, 1999a) มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดแบ่งกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแต่ละขนาด ให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยที่ตัดพีชซ่า คีบกระดาษกรองที่ตัดแล้วด้วยคีมคีบพลาสติกใส่ปิกรขนาด 25 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสมสำหรับย่อยระหว่างกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริกอัตราส่วน 1 : 3 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยใส่ให้ท่วมกระดาษกรอง ปิดปิกรด้วยกระจกนาฬิกา
3. ย่อยกระดาษกรองที่มีฝุ่นจนสารละลายใส โดยใช้เวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งปิกรทิ้งให้เย็น
4. เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการย่อยใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
5. ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังนี้ Fe, Cu, Zn, Cr, Pb, และ Mn โดยใช้เครื่องอะตอม-มิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ตามวิธีของ U.S. EPA (1999a)
6. ทำแปลงค์โดยใช้กระดาษกรองที่ไม่ได้เก็บฝุ่น โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5
7. ทหาร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) ของสารโลหะหนักโดยใช้กระดาษกรองเปล่า เติมน้ำกลั่นมาตรฐานโลหะหนักที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5

3.6.2 การวิเคราะห์สารโลหะหนักที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาด จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ

สกัดโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรองโดยดัดแปลงวิธี Compendium Method IO-3.2 (U.S. EPA, 1999a) มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดแบ่งกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน นำส่วนหนึ่งไปสกัดโลหะหนัก และอีกส่วนนำไปวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs
2. นำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละขนาดที่แบ่งครึ่งแล้ว ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยที่ตัดพีชซ่า คีบกระดาษกรองที่ตัดแล้วด้วยคีมคีบพลาสติกใส่ปิกรขนาด 25 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการย่อยใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. ย่อยกระดาษกรองที่มีฝุ่นจนสารละลายใส โดยใช้เวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งปิกรทิ้งให้เย็น
5. เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการย่อยใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
6. ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังนี้ Fe, Cu, Zn, Cr, Pb, และ Mn โดยใช้เครื่องอะตอม-มิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ตามวิธีของ U.S. EPA (1999a) คำนวณความเข้มข้นของโลหะหนัก (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก)

7. ทำแปลงค้โดยใช้กระดาษกรองที่ไม่ได้เก็บฝุ่น โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6
8. ทาร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) ของสารโลหะหนักโดยใช้กระดาษกรองเปล่า เติมสารมาตรฐานโลหะหนักที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6

3.6.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกิจกรรมตัดโลหะ ด้วยความร้อน และการเผาสายไฟ

สกัดตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรองโดยใช้วิธี Compendium Method TO-13A (U.S. EPA, 1999b) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำกระดาษกรองเก็บฝุ่นอีกส่วนที่เหลือจากข้อ 3.6.2 ข้อ 1 ตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆใส่ในขวดแก้วสีชาขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Acetonitrile 15 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดให้สนิทแล้วพันด้วย Parafin film
3. สกัดโดยการเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonicator เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิโดยเติมน้ำแข็งเพื่อป้องกันการระเหยของสาร PAHs
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน (nylon) ที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ใส่ในขวดแก้วสีชาขนาด 40 มิลลิลิตร
5. สกัดกระดาษกรองซ้ำโดยใช้สารละลาย Acetonitrile 15 มิลลิลิตร ตามข้อ 3-4
6. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 4 และข้อ 5 มารวมกัน ใส่ในขวดก้นกลมนำไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องหมุนระเหยความดันต่ำ 100 มิลลิบาร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจนเหลือปริมาตร ประมาณ 1 มิลลิลิตร
7. ใช้หลอดหยดดูดสารละลายที่ได้ใส่ขวดสีชาขนาด 1 มิลลิลิตร กลั้วสารละลายที่ตกค้างในขวดก้นกลมด้วยสารละลาย Acetonitrile
8. ปรับปริมาตรสารละลายที่ได้ ให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 มิลลิลิตร โดยใช้ Acetonitrile หากมีปริมาตรเกิน 1 มิลลิลิตร ให้พันด้วยก๊าสไนโตรเจน เพื่อลดปริมาตรสารละลาย
9. ทำการ clean-up สารละลายที่สกัดได้ โดยใช้ C18 cartridge ก่อนใช้ทำการ condition ด้วยสารละลายผสมระหว่าง hexane กับ dichloromethane อัตราส่วน 1 : 1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
10. ใช้หลอดหยดดูดสารละลายในข้อ 8 ลงใน C18 cartridge กลั้วสารละลายตัวอย่างที่ตกค้างในขวดสีชาด้วย Acetonitrile
11. ชะสารละลายตัวอย่างโดยใช้ 20% dichloromethane ใน hexane ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลดปริมาตรสารละลายตัวอย่างลงให้เหลือ 1 มิลลิลิตรด้วยการพันก๊าสไนโตรเจน
12. วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS/SIM Mode โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs โดยใช้สภาวะดังตารางที่ 3.2 คำนวณความเข้มข้นของ PAHs (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก)

13. หาร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) ของสาร PAHs โดยใช้กระดาษกรองเปล่าเติมสารมาตรฐาน PAHs ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (Spike) โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-12

3.7 การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักและ PAHs ที่จับบนฝุ่นละอองที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

3.7.1 การประเมินความเสี่ยงของโลหะหนัก

ในงานวิจัยนี้จะประเมินความเสี่ยงของคอนงานที่สัมผัสโลหะหนักบนฝุ่นละอองที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 กิจกรรม ผ่านทางการหายใจ คำนวณในรูปของ Average daily dose (ADD_{inh}) โดยใช้วิธีของ U.S. EPA (2016) ดังสมการที่ 3.1 และนำมาคำนวณค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย (Hazard quotient, HQ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณโลหะหนักบนฝุ่นละอองกับปริมาณของโลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย (Reference Dose, RfD) ดังสมการที่ 3.2 การคำนวณค่าความเสี่ยงในการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละออง จากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ อ้างอิงข้อมูลลักษณะการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ภายในชุมชนซอยเสือใหญ่อุทิศ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ (สุจิตรา และคณะ, 2558) สำหรับกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง การคำนวณใช้สมมติฐานจากลักษณะการปฏิบัติงาน ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.1

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (3.1)$$

เมื่อ ADD_{inh}	=	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักที่ได้รับในแต่ละวัน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)
C	=	ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในอากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
InhR	=	อัตราการหายใจของคอนงานที่สัมผัสโลหะหนัก (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)
ET	=	ระยะเวลาการสัมผัสโลหะหนักบนฝุ่นละอองในอากาศ (ชั่วโมง/วัน)
EF	=	ความถี่ในการสัมผัส (วัน/ปี)
ED	=	ช่วงเวลารับสัมผัส (ปี)
BW	=	น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กิโลกรัม)
AT	=	เวลาเฉลี่ยที่รับสัมผัส (days; ED x 365 วัน)

$$HQ = \frac{ADD_{inh}}{RfD} \quad (3.2)$$

- เมื่อ HQ = สัดส่วนความเสี่ยงอันตราย
 ADD_{inh} = ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักที่ได้รับในแต่ละวัน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)
 RfD = ปริมาณของโลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ
 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)

ตารางที่ 3.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณความเสี่ยงในการสัมผัสมลพิษโลหะหนักในฝุ่นละอองจากการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ตัวแปร	สมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณ		
	คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	ตัดโลหะด้วยความร้อน	เผาสายไฟในที่โล่ง
InhR	16.0 ลูกบาศก์เมตร/วัน หรือ 0.67 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง		
ET	6 ชั่วโมง/วัน	0.5 ชั่วโมง/วัน	0.5 ชั่วโมง/วัน
EF	365 วัน/ปี	52 วัน/ปี	52 วัน/ปี
ED	10 ปี	10 ปี	10 ปี
BW	ชายไทย 71.01 กิโลกรัม และ หญิงไทย 59.79 กิโลกรัม		
AT	3,650 วัน		

หมายเหตุ: InhR อ้างอิงจากอัตราการหายใจเฉลี่ยของผู้ใหญ่อายุ 43 ปี (Exposure Factors Handbook USEPA, 2011) และ BW อ้างอิงจากน้ำหนักเฉลี่ยผู้ชาย และผู้หญิงไทยอายุ 43 ปี (สวทช., 2562) การเผาสายไฟในที่โล่งคำนวณโดยใช้สมมุติฐานจากลักษณะการปฏิบัติงานเผาสายไฟน้ำหนัก 1 กิโลกรัม จำนวน 1 กอง ในทิศใต้ลม

3.7.2 การประเมินความเสี่ยงของ PAHs

การประเมินความเสี่ยงของ PAHs ในงานวิจัยนี้จะแสดงอยู่ในรูปแบบของความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิต (lifetime lung cancer risk) จากการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งจากการหายใจรับสารพิษที่มากเกินไป (excess cancer risk, ECR) ซึ่งการประเมินดังกล่าวจะใช้ความเข้มข้นของ PAHs ที่อยู่ในรูปของสมมุติฐานของ benzo(a)pyrene ($\Sigma B[a]P_{eq}$) ดังสมการที่ (3.3) ส่วนการคำนวณค่า ECR จะแสดงในสมการที่ (3.4) ตามวิธีของ Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) of the California Environmental Protection Agency (Cal EPA) (OEHHA 1993; 2005)

$$\Sigma B[a]P_{eq} = \Sigma_{i=1}^n (C_i \times TEF_i) \quad (3.3)$$

เมื่อ $\sum B_{[a]} P_{eq}$ = สมบูรณ์รวมของ benzo(a)pyrene
 C_i = ความเข้มข้นของ PAH_i (ng/m³)
 TEF_i = Toxic equivalent factor ของ PAH_i

$$ECR = \sum B_{[a]} P_{eq} \times UR_{B_{[a]}P} \quad (3.4)$$

เมื่อ ECR = ความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งจากการหายใจรับสารพิษที่มากเกินไป
 $\sum B_{[a]} P_{eq}$ = สมบูรณ์รวมของ benzo(a)pyrene
 $UR_{B_{[a]}P}$ = หน่วยของความเสี่ยง มีค่าเท่ากับ 8.7×10^{-5} (WHO, 2000)

ตารางที่ 3.2 สภาวะของการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสาร 16 PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS

Parameters	Conditions
Gas Chromatograph	6890 N (Agilent Technology, USA)
Carrier gas	Helium, Flow rate 1 ml/min
Column	HP5 30 m × 0.25 mm I.D. 0.25 µm (film thickness) capillary column (J&W Scientific, USA)
Initial column temperature	80°C
Temperature program ramp rate	Injector temperature : 290°C Oven temperature : 80°C (initial temperature), holding at 80°C for 2 mins, then increased from 80°C to 150°C at 20°C/ min, holding at 150°C for 10 mins, next increased from 150°C to 285°C at 5°C/ min, then increased from 285°C to 300°C at 3°C/ min, hold at 300°C for 7 mins.
Injector mode	Splitless
Injection volume	1 µl
Purge flow split vent	60 ml/min @ 1°C
Final temperature	300°C
Final hold time	10 mins
Analytical time	50 mins
Dectector	Mass Spectrometer 5973N (Agilent Technology, USA)
MS mode	EI mode (SIM mode)
MS dectector temperature	300°C
Mass range/scan speed	30 – 500 amu/sec.
Transfer line temperature	300°C
Filament/multiplier delay	6 mins

บทที่ 4

ผลการวิจัยละอองฝอย

งานวิจัยนี้ศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละออง โลหะหนัก (heavy metals) และสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) ที่จับตัวอยู่บนอนุภาคขนาดต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองตามกิจกรรมการตัดแยกที่แตกต่างกัน 3 กิจกรรม ได้แก่ 1) การตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 2) การตัดโลหะด้วยความร้อน และ 3) การเผาสายไฟในที่โล่งแจ้งเพื่อแยกทองแดง พร้อมทั้งประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสจากการหายใจของผู้ปฏิบัติงาน ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

การเก็บฝุ่นละอองด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น 8-Stage Cascade Impactor จะตัดแยกขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค (Cutpoint particle aerodynamic diameter) ออกเป็น 9 ช่วงขนาด ได้แก่ 10.0-9.0, 9.0-5.8, 5.8-4.7, 4.7-3.3, 3.3-2.1, 2.1-1.1, 1.1-0.65, 0.65-0.43 และ <0.43 ไมโครเมตร โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ได้จากการทดลอง คำนวณที่สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บรรยากาศ ใช้ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาในช่วงการเก็บตัวอย่างของแต่ละกิจกรรมได้มาจากกรมอุตุนิยมิวิทยา (2558) โดยกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือใช้ข้อมูลจากสถานีดอนเมือง กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และกิจกรรมเผาสายไฟใช้ข้อมูลจากสถานีสุวรรณภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ชนิด และปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์สภาพแวดล้อม และสภาพบรรยากาศในระหว่างการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ

กระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	วันที่เก็บตัวอย่าง	ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา				
		อุณหภูมิ (°C)	ความกดอากาศ (mbar)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมเฉลี่ย (km/hr)	ทิศทางลม (Cardinal direction)
การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ						
คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	6 เม.ย. 2558	31.0 ± 3.2	1,007.81 ± 1.52	71 ± 13.6	7 ± 1.5 (Gentle breeze)	SSW
	8 เม.ย. 2558	27.1 ± 2.0	1,010.56 ± 1.60	81 ± 7.2	6 ± 4.4 (Light breeze)	SSW
	9 เม.ย. 2558	28.8 ± 3.8	1,010.75 ± 1.29	75 ± 16.0	4 ± 2.7 (Light breeze)	SW
	10 เม.ย. 2558	30.7 ± 3.1	1,010.35 ± 1.58	70 ± 16.4	6 ± 2.1 (Light breeze)	SSE
	20 เม.ย. 2558	31.7 ± 3.4	1,008.64 ± 1.78	69 ± 15.9	7 ± 2.4 (Gentle breeze)	S
	21 เม.ย. 2558	32.8 ± 3.4	1,007.59 ± 2.03	60 ± 21.4	7 ± 1.5 (Gentle breeze)	SW
วันที่ไม่มีการทำงาน						
โรงเรียนบริเวณใกล้เคียง	7 เม.ย. 2558	31.6 ± 3.2	1,007.93 ± 1.75	69 ± 12.1	7 ± 2.3 (Gentle breeze)	WSW
การตัดโลหะด้วยความร้อน						
ตัดโลหะด้วยความร้อน	29 เม.ย. 2558	31.2 ± 2.8	1,009.65 ± 1.61	78 ± 9.3	3 ± 2.8 (Light air)	S
	27 ส.ค. 2558	29.4 ± 2.7	1,009.74 ± 1.35	75 ± 12.7	2 ± 2.3 (Light air)	WSW
	18 ธ.ค. 2558	24.9 ± 2.2	1015.80 ± 1.48	61 ± 7.9	3 ± 2.3 (Light air)	SW
ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน	20 ส.ค. 2558	30.8 ± 3.4	1,007.46 ± 1.39	66 ± 7.7	4 ± 1.9 (Light breeze)	NE
การเผาสายไฟในที่โล่ง						
การเผาสายไฟในที่โล่ง	1 พ.ค. 2558	32.1 ± 2.5	1,008.32 ± 1.62	62 ± 13.3	6 ± 3.5 (Light breeze)	SSW
	11 พ.ค. 2558	31.2 ± 2.4	1,008.03 ± 1.34	66 ± 13.4	7 ± 2.7 (Gentle breeze)	S
ไม่มีการเผาสายไฟ	12 พ.ค. 2558	32.2 ± 2.2	1008.06 ± 1.71	64 ± 9.1	8 ± 2.6 (Gentle breeze)	S

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2558)

ตารางที่ 4.2 สภาพแวดล้อม ลักษณะการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และสภาพอากาศ บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

กิจกรรม	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	สภาพอากาศ	ลักษณะการทำงาน
กระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์			
คัดแยกขยะ อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	6 เม.ย. 2558	มีแดดจัด	แยกชิ้นส่วนโฟม พลาสติก และสายไฟจากมอเตอร์เครื่องซักผ้า และตู้เย็นเก่า ขยะอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณน้อย (1-5 ชิ้น)
	8 เม.ย. 2558	ไม่มีแดด ฝนตกหนักในช่วงเช้า ช่วงบ่ายมีดีคริม	แยกชิ้นส่วนโฟม พลาสติก และสายไฟจากมอเตอร์เครื่องซักผ้า และตู้เย็นเก่า แยกทองแดงจากมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ค้อนทุบ ขยะอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณน้อย (1-5 ชิ้น)
	9 เม.ย. 2558	ฝนตกตลอดวันเนื่องจากมีพายุฤดูร้อน	แยกชิ้นส่วนพลาสติก เหล็ก และแผงวงจรไฟฟ้าจาก โทรทัศน์เก่าชนิดจอ CRT จำนวนประมาณ 20 เครื่อง
	10 เม.ย. 2558	มีแดดออกสลับกับเมฆ	แยกชิ้นส่วนโฟม พลาสติก และสายไฟจากมอเตอร์เครื่องซักผ้า และตู้เย็นเก่า แยกทองแดงจากมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ค้อนทุบ ขยะอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณน้อย (1-5 ชิ้น)
	20 เม.ย. 2558	มีแดดจัด	แยกทองแดงจากมอเตอร์พัดลมเก่า จำนวนประมาณ 15 ชิ้น และแยกชิ้นส่วน CPU และแผงวงจรคอมพิวเตอร์ จำนวนประมาณ 20 เครื่อง
	21 เม.ย. 2558	มีแดดจัด	แยกชิ้นส่วนพลาสติก เหล็ก และมอเตอร์ไฟฟ้าจาก เครื่องซักผ้า ขยะอิเล็กทรอนิกส์มีปริมาณน้อย (1-5 ชิ้น)
วันที่ไม่มีการทำงาน	7 เม.ย. 2558	มีแดดจัด	มีการจัดของ และทำความสะอาดบริเวณร้าน โดยการกวาด และล้างพื้น
โรงเรียนบริเวณใกล้เคียง	22 เม.ย. 2558	มีแดดจัด	ไม่มีกิจกรรมภายในโรงเรียน

ตารางที่ 4.2 สภาพพื้นที่ และลักษณะการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และสภาพอากาศ บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

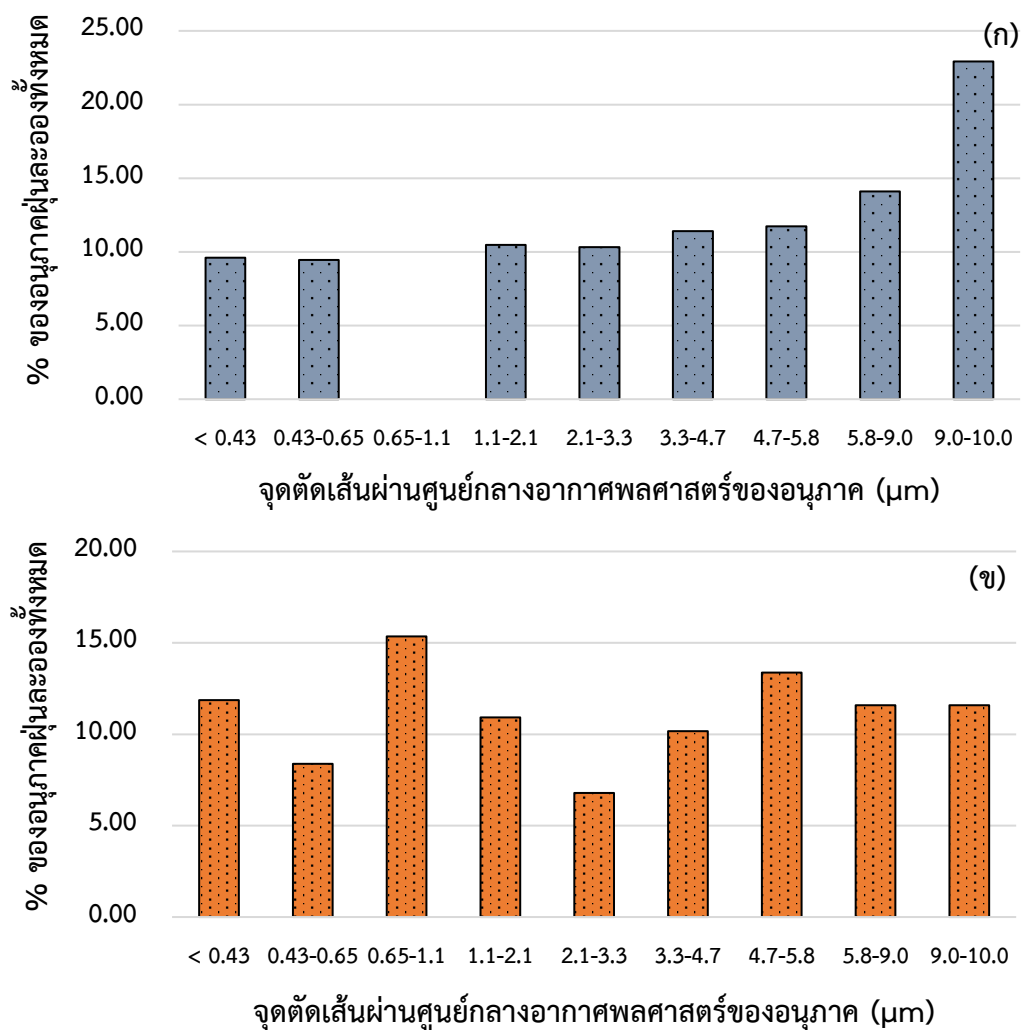
กิจกรรม	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	สภาพอากาศ	ลักษณะการทำงาน
การตัดโลหะด้วยความร้อน			
ตัดโลหะด้วยความร้อน	29 เม.ย. 2558	มีแดดจัด อากาศอบอ้าว	ตัดชิ้นส่วนมอเตอร์พัดลม ปัมป์ไดโว และมอเตอร์อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง จำนวนประมาณ 10-15 ชิ้น มีการทำงานคัดแยกขยะ และของเก่าประเภทอื่นๆ
	27 ส.ค. 2558	มีแดดออกสลบกับเมฆ	ตัดชิ้นส่วนมอเตอร์พัดลม ปัมป์ไดโว และมอเตอร์อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง จำนวนประมาณ 20-30 ชิ้น มีการทำงานคัดแยกขยะ และของเก่าประเภทอื่นๆ
	18 ธ.ค. 2558	มีแดดจัด	ตัดชิ้นส่วนมอเตอร์พัดลม ปัมป์ไดโว และมอเตอร์อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง จำนวนประมาณ 20-30 ชิ้น มีการทำงานคัดแยกขยะ และของเก่าประเภทอื่นๆ
ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน	20 ส.ค. 2558	มีแดดจัด อากาศอบอ้าว	มีการทำงานคัดแยกขยะ และของเก่าประเภทอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียม พลาสติก และเหล็ก
การเผาสายไฟในที่โล่ง	1 พ.ค. 2558	ท้องฟ้าโปร่ง	จำลองการเผาสายไฟเพื่อคัดแยกทองแดง น้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยใช้สายไฟจากร้านคัดแยกของเก่าที่ถูกแยกออกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภท เตารีด พัดลม ตู้เย็น เครื่องซักผ้า และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น
	11 พ.ค. 2558	ท้องฟ้าโปร่ง	
ไม่มีการเผาสายไฟ	12 พ.ค. 2558	ท้องฟ้าโปร่ง	ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

4.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ

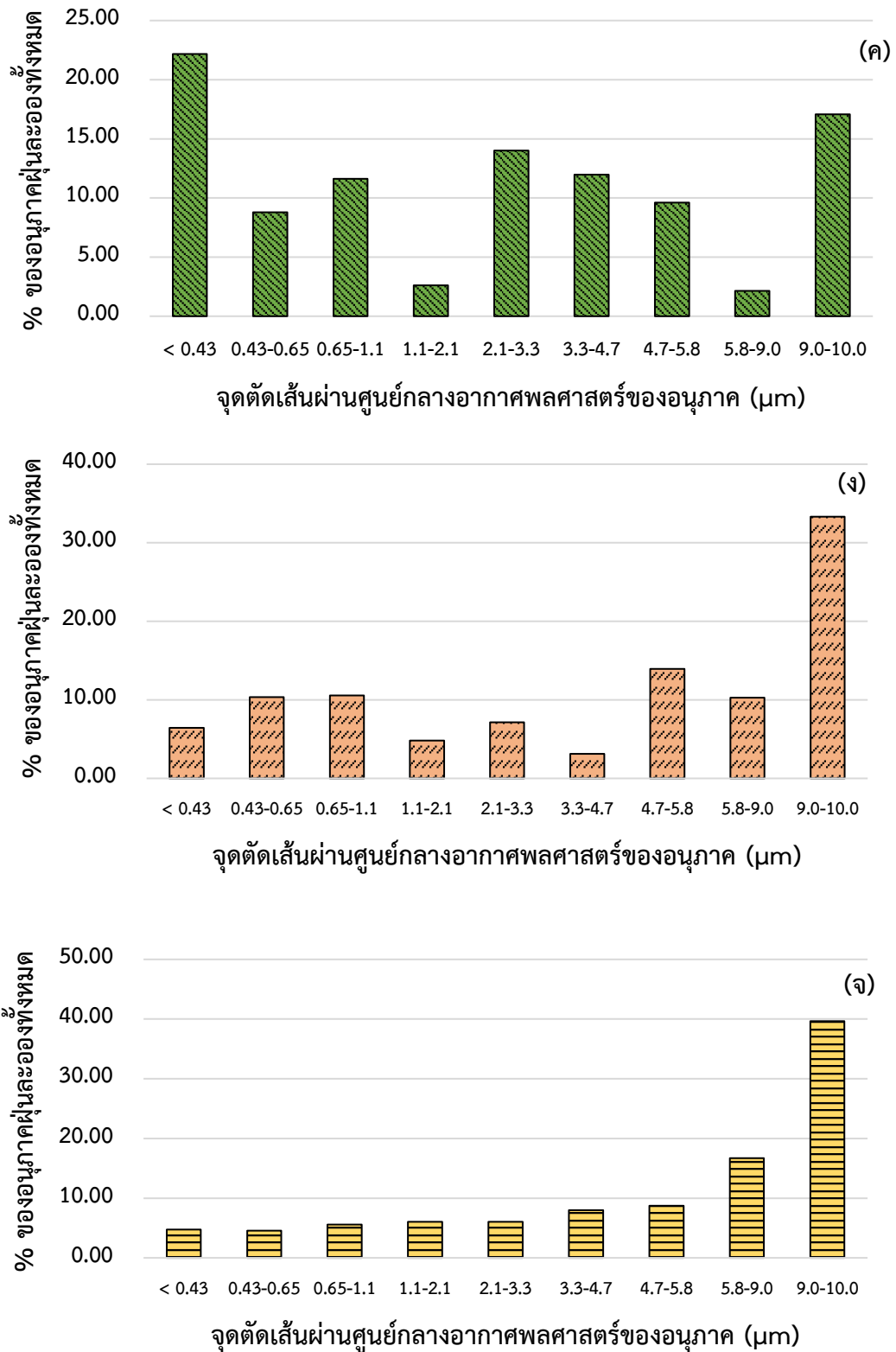
จากผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น 8-Stage Cascade Impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1 ถึง ข-8 ภาคผนวก ข) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ระหว่างเวลา 9.00 น. - 15.00 น.) ที่ระดับหายใจของปฏิบัติงานในขณะนั่งทำงานที่ระดับความสูง 1 เมตรจากระดับพื้น ของร้านค้าของเก่าในซอยเสือใหญ่อุทิศ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในวันที่ 6, 8-10 และ 20-21 เมษายน พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นวันที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในวันที่ไม่มีการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2558) สำหรับการศึกษาผลกระทบของกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือต่อชุมชนบริเวณใกล้เคียง โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ระดับหายใจ ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรจากระดับพื้น บริเวณโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่าในวันที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (วันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2558) ได้ผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-17 ถึง ข-24 ภาคผนวก ข) แสดงสัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ จากผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 40.41-97.98 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีแนวโน้มการเพิ่มความเข้มข้นของฝุ่นละอองไปทางฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (รูปที่ 4.1 ก) ในวันที่ 8 เมษายน พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 23.53-53.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีการกระจายความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.1 ข) และในวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 5.97-62.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด <0.43 ไมโครเมตรมากที่สุด รองลงมาคือขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.1 ค) และในวันที่ 10 และ 20-21 เมษายน พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 13.82-146.58, 16.20-141.13 และ 14.49-233.86 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มการเพิ่มความเข้มข้นของฝุ่นละอองไปทางฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (รูปที่ 4.1 ง-ฉ) เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ที่ได้ในวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2558 (รูปที่ 4.1 ก) จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดในวันที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดหรือประเภท และปริมาณของขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่คัดแยก รวมถึงลักษณะภูมิอากาศแตกต่างกันในแต่ละวัน (ดังแสดงในตารางที่ 4.2) สำหรับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในวันที่ไม่มีการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2558) พบว่ามีความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 6.39-36.34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (<0.43 ไมโครเมตร) และฝุ่นละอองขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตรมากกว่าฝุ่นละอองขนาดอื่นๆ (รูปที่ 4.1 ข) ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองแตกต่างจากวันที่ทำกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะตกตัวโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนฝุ่นขนาดเล็กจะสามารถแขวนลอยอยู่ใน

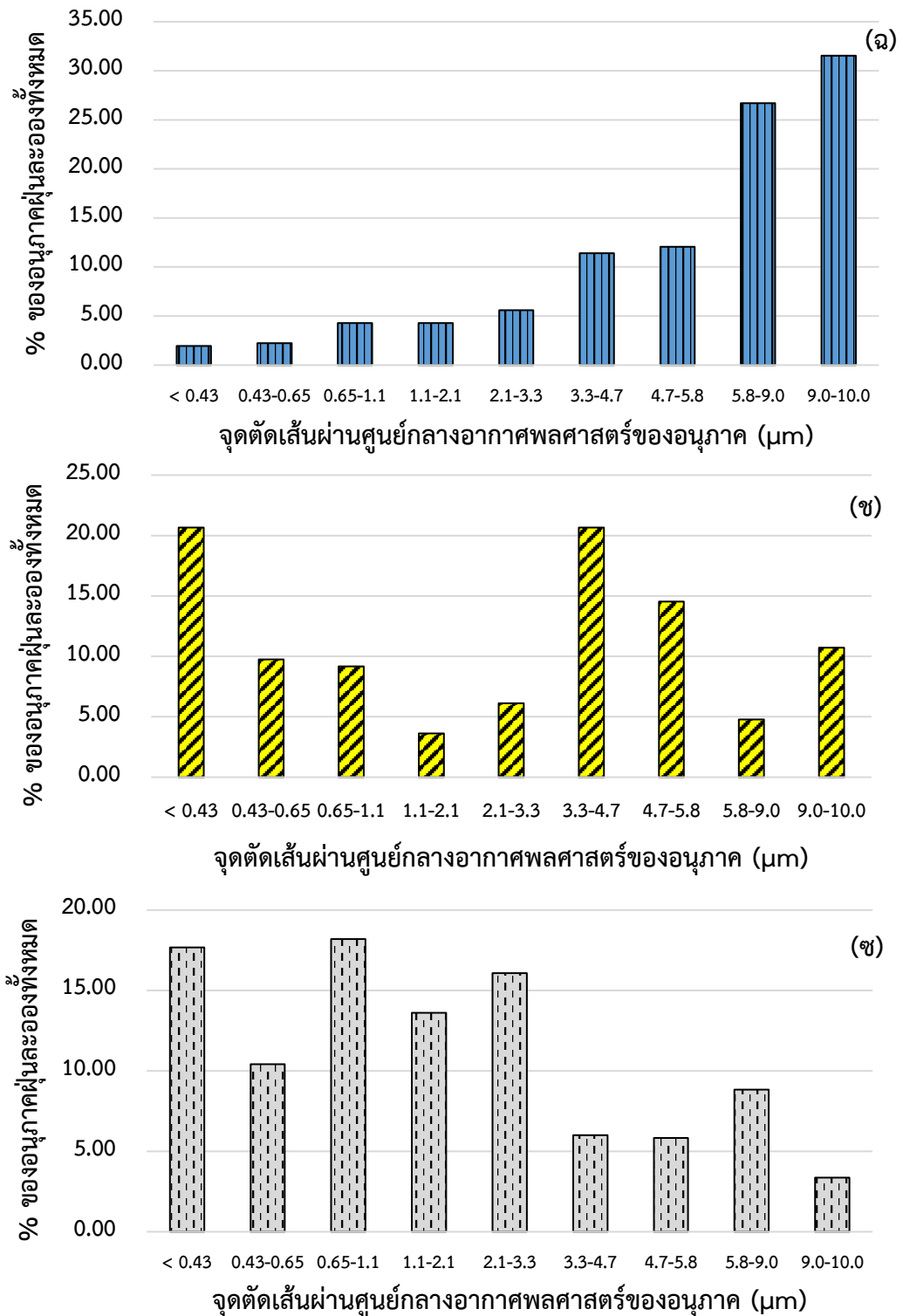
บรรยากาศได้นาน (Geddes and Murphy, 2012) สำหรับความเข้มข้นฝุ่นละอองบริเวณโรงเรียน ใกล้กับร้านค้าของเก่าในวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2558 พบว่ามีความเข้มข้นฝุ่นละอองในช่วง 6.32-34.26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีแนวโน้มการกระจายตัวไปทางฝุ่นละอองขนาดเล็ก (รูปที่ 4.1 ข) ซึ่งมีรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองแตกต่างจากฝุ่นละอองที่เก็บจากร้านค้าของเก่าในวันที่ทำกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นขนาดใหญ่จะตกตัวใกล้กับแหล่งกำเนิด ส่วนฝุ่นขนาดเล็กสามารถแขวนลอยในบรรยากาศได้นานกว่าและอาจถูกพัดพามายังบริเวณโรงเรียน ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางลม ssw ที่พัดจากร้านคัดแยกอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือไปยังพื้นที่โรงเรียนซึ่งตั้งอยู่ปลายลม อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องทำการศึกษา Source apportionments ของโลหะหนักและสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่จับอยู่บนอนุภาคฝุ่นละอองในการศึกษาต่อไป



รูปที่ 4.1 สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 6 เมษายน 2558 (ก) 8-10 เมษายน 2558 (ข-ง) และ 20-21 เมษายน 2558 (จ-ฉ) ในวันที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 7 เมษายน 2558 (ช) และโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่าวันที่ 22 เมษายน 2558 (ซ)

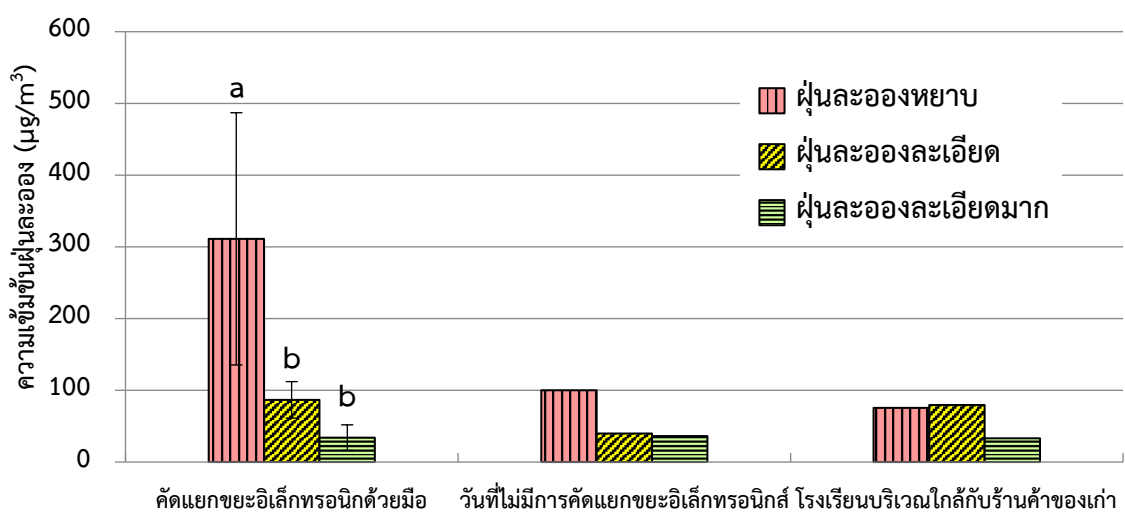


รูปที่ 4.1 สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 6 เมษายน 2558 (ก) 8-10 เมษายน 2558 (ข-ง) และ 20-21 เมษายน 2558 (จ-ฉ) ในวันที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 7 เมษายน 2558 (ช) และโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่าวันที่ 22 เมษายน 2558 (ซ) (ต่อ)



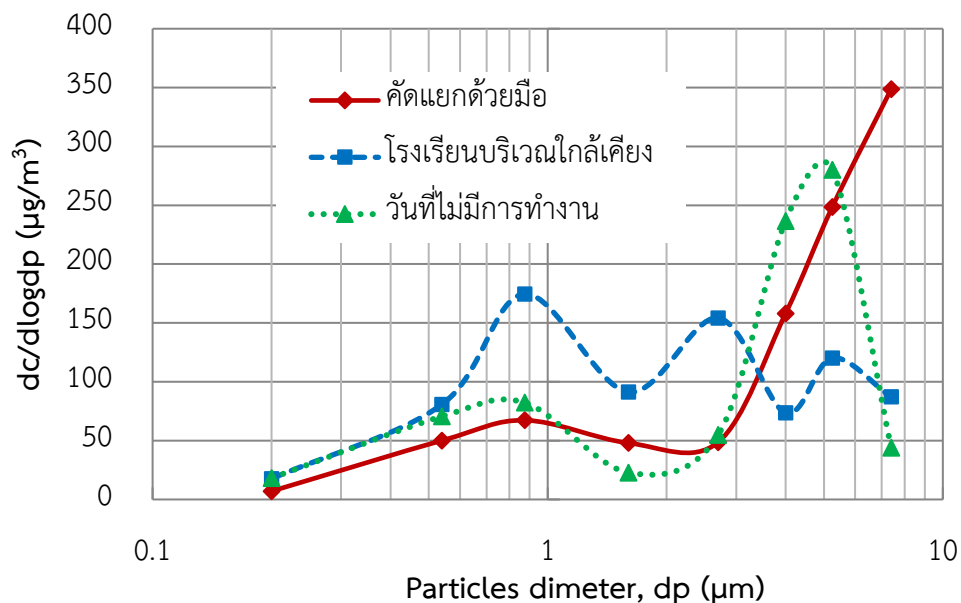
รูปที่ 4.1 สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 6 เมษายน 2558 (ก) 8-10 เมษายน 2558 (ข-ง) และ 20-21 เมษายน 2558 (จ-ฉ) ในวันที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 7 เมษายน 2558 (ช) และโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่าวันที่ 22 เมษายน 2558 (ซ) (ต่อ)

เมื่อนำผลของฝุ่นละอองแต่ละขนาดที่ได้มาจัดจำแนกกลุ่มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) ฝุ่นละอองหยาบ (Coarse particles) ($d_{ae} > 2.1 \mu\text{m}$) 2) ฝุ่นละอองละเอียด (Fine particles) หรือ Accumulation mode ($0.43 \mu\text{m} < d_{ae} < 2.1 \mu\text{m}$) และ 3) ฝุ่นละอองละเอียดมาก (Ultrafine particles) หรือ Nuclei mode ($d_{ae} < 0.43 \mu\text{m}$) พบว่า ฝุ่นละอองหยาบ, ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากมีความเข้มข้น 311.17 ± 175.85 , 86.73 ± 25.42 และ 33.99 ± 17.86 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-33 ภาคผนวก ข) เมื่อทดสอบด้วย LSD ANOVA พบว่าฝุ่นละอองหยาบมีความเข้มข้นสูงกว่าฝุ่นละอองละเอียดและฝุ่นละอองละเอียดมากอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\text{-value} < 0.05$) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-33 ภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือเป็นกิจกรรมที่อาศัยอุปกรณ์ในการตัดแยก ได้แก่ ค้อน มีด สิ่ว และอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งเป็นกระบวนการทางกายภาพในการแยกโลหะที่มีค่าออกจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดใหญ่เป็นส่วนใหญ่ ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองละเอียดและฝุ่นละอองละเอียดมากมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ข-1 ภาคผนวก ข) ซึ่งงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruan *et al.* (2015) ที่พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{10} มากกว่า $\text{PM}_{2.5}$ ในโรงงานที่มีการตัดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเภทโทรทัศน์ด้วยมือ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองในพื้นที่ที่มีกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือกับวันที่ไม่มีกิจกรรม และพื้นที่บริเวณโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่าพบว่า ฝุ่นละอองหยาบในร้านค้าของเก่าในวันที่มีกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือมีค่าความเข้มข้นมากกว่าวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดแยกและพื้นที่บริเวณโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่าอย่างเห็นได้ชัด ส่วนฝุ่นละอองละเอียดและฝุ่นละอองละเอียดมากมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-33 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
แบ่งตามขนาดของอนุภาค

จากการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละออง พบว่าร้านค้าของเก่าในวันที่มีกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือจะมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองแบบ Bimodal distribution โดยมีพีคหลักอยู่ในฝุ่นละอองหยาบ (Coarse particle) และมีพีครองอยู่ที่ Accumulation mode ซึ่งคล้ายคลึงกับการกระจายตัวของฝุ่นละอองในวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ในขณะที่บริเวณโรงเรียนใกล้เคียงกับร้านค้าของเก่ามีลักษณะการกระจายของฝุ่นละอองแบบ Trimodal distribution ที่มีพีคหลักอยู่ที่ Accumulation mode และมีพีครองทั้งสองพีคอยู่ในฝุ่นละอองหยาบ ซึ่งแตกต่างจากการกระจายตัวของฝุ่นละอองในบริเวณร้านค้าของเก่า แสดงดังรูปที่ 4.3 ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากพื้นที่บริเวณโรงเรียนอาจได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดอื่นๆด้วย เช่น ไอเสียจากรถยนต์เนื่องจากอยู่ใกล้กับถนน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pant *et al.* (2016) ที่พบว่าบริเวณพื้นที่ที่อยู่อาศัยใกล้กับบริเวณที่มีการจราจรจะมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองแบบ Trimodal distribution



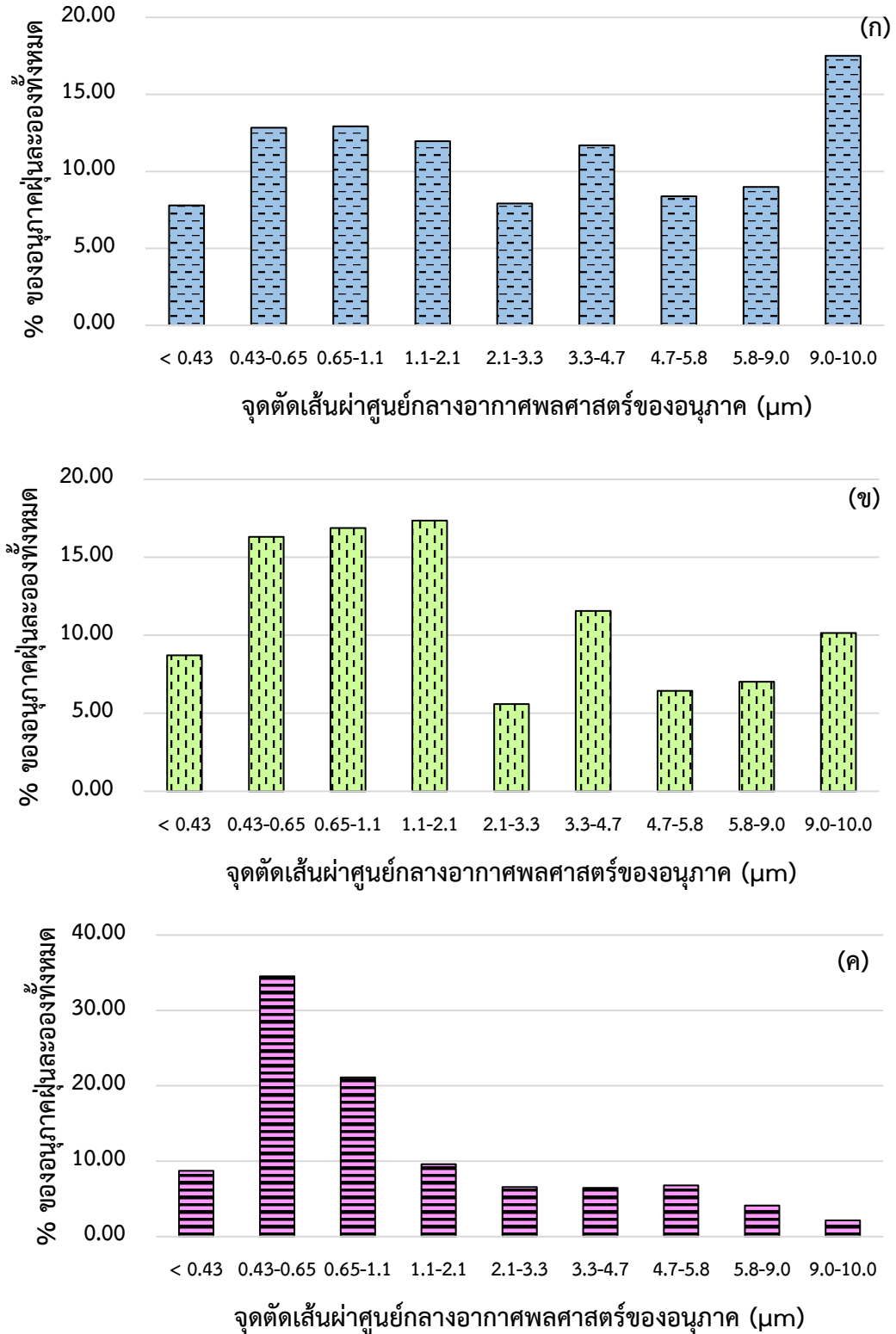
รูปที่ 4.3 รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ

4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน

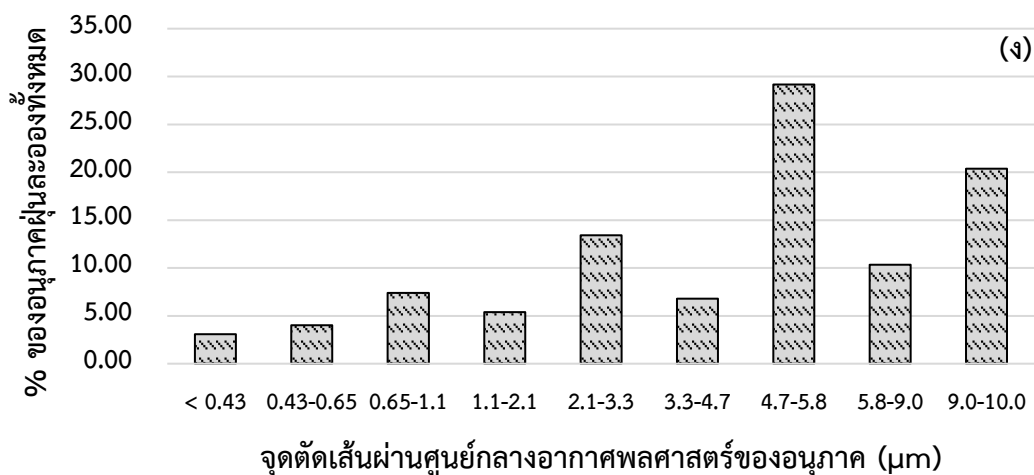
การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากการตัดโลหะชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อนในร้านค้าของเก่าขนาดใหญ่ บริเวณอำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีการดำเนินกิจกรรมตัดแยกของเก่าหลายประเภท รวมถึงขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น 8-Stage Cascade Impactor ในบริเวณที่มีการตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยความร้อนที่ระดับความสูง 1 เมตรจากระดับพื้น ซึ่งเป็นระดับการหายใจของผู้ปฏิบัติงาน ในวันที่ 29 เมษายน วันที่ 27 สิงหาคม

และวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2558 ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-9 ถึง ข-12, ภาคผนวก ข) เป็นเวลา 30 นาที โดยเปรียบเทียบกับวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นวันที่มีการทำงานแต่ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน ได้ผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-25 ถึง ข-28 ภาคผนวก ข) แสดงความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดโลหะชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน จากผลการทดลองพบว่า วันที่มีกิจกรรมการตัดโลหะชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน ในวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 1,011.95-2,272.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตรมากที่สุด ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.4 ก) ในวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 233.06-722.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 0.43-0.65, 0.65-1.1 และ 1.1-2.1 ไมโครเมตรสูง ส่วนฝุ่นละอองขนาดอื่นๆ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.4 ข) และวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 154.85-2,489.55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีแนวโน้มการเพิ่มความเข้มข้นของฝุ่นละอองไปทางฝุ่นละอองขนาดเล็ก มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 0.43-0.65 ไมโครเมตรมากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นละอองขนาด 0.65-1.1 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.4 ค) สำหรับวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน (วันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2558) พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 80.47-760.41 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งฝุ่นละอองขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตรมีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นละอองขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตร ส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.4 ง) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดและปริมาณของขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกนำไปตัดแยกชิ้นส่วนด้วยความร้อน มีความแตกต่างกันในแต่ละวัน (ดังแสดงในตารางที่ 4.2) นอกจากนี้ บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างการตัดโลหะด้วยความร้อนเป็นลานกว้างที่เปิดโล่งและมีกิจกรรมการคัดแยกของเก่าอื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย

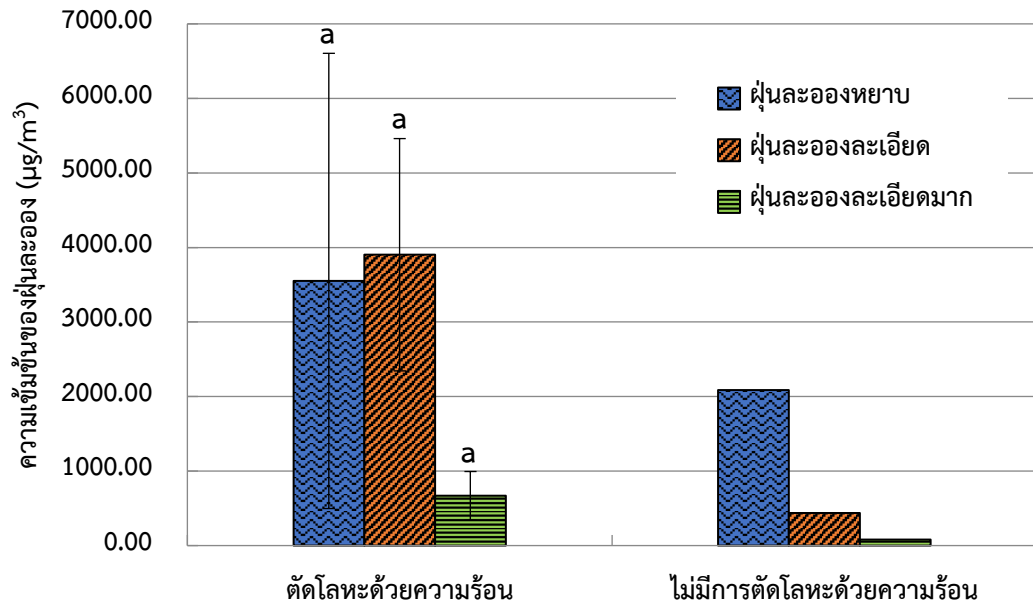


รูปที่ 4.4 สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อนแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 29 เมษายน 2558 (ก) 27 สิงหาคม 2558 (ข) และ 18 ธันวาคม 2558 (ค) ในวันที่ไม่มีการตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน 20 สิงหาคม 2558 (ง)



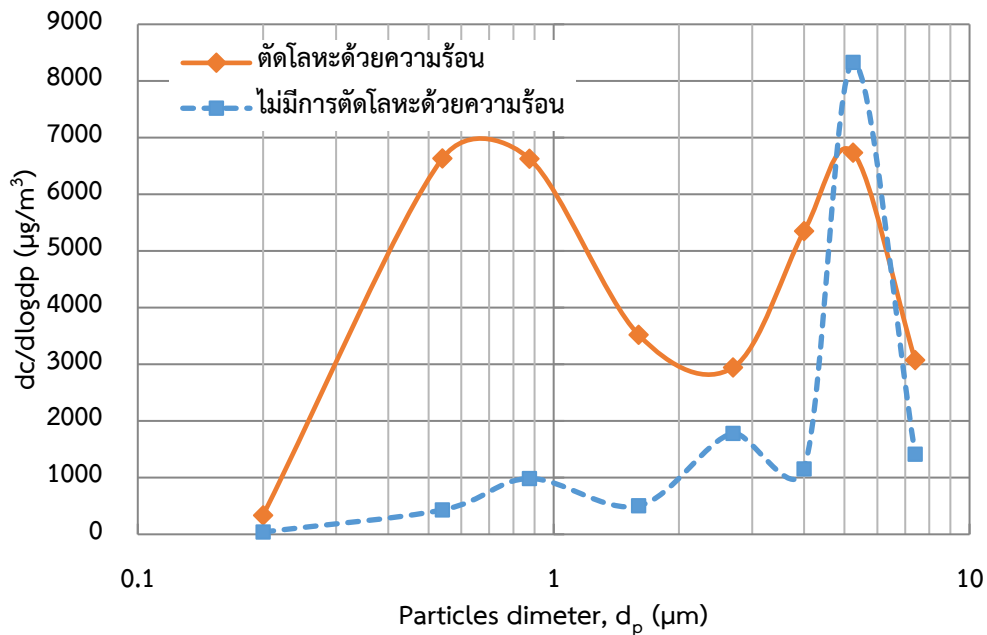
รูปที่ 4.4 สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อนแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 29 เมษายน 2558 (ก) 27 สิงหาคม 2558 (ข) และ 18 ธันวาคม 2558 (ค) ในวันที่ไม่มีการตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน 20 สิงหาคม 2558 (ง) (ต่อ)

เมื่อนำผลของฝุ่นละอองที่ได้มาจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตามขนาดของฝุ่นละอองพบว่า ฝุ่นละอองละเอียดมีความเข้มข้น $3,901.89 \pm 1,558.95$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใกล้เคียงกับฝุ่นละอองหยาบ ($3,550.74 \pm 3,053.94$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แต่มากกว่าฝุ่นละอองละเอียดมาก (667.57 ± 326.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-33 ภาคผนวก ข) เมื่อทดสอบสถิติด้วย LSD ANOVA พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ข-2 ภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีความแตกต่างกันมากในแต่ละวัน โดยเฉพาะฝุ่นละอองหยาบ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ภายในร้านได้อย่างไรก็ตาม พบว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากร้านค้าของเก่าในวันที่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนร่วมกับกิจกรรมคัดแยกของเก่าประเภทอื่นๆ ภายในร้าน มีความเข้มข้นมากกว่าวันที่ร้านค้าของเก่าไม่มีกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการตัดโลหะด้วยความร้อนแบ่งตามขนาดของอนุภาค

รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายของฝุ่นละอองของร้านค้าของเก่าในวันที่มีกิจกรรมการตัดโลหะ ชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน พบว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นมีลักษณะการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีพีคหลักของการกระจายตัวอยู่ในช่วงของฝุ่นละอองละเอียด (Accumulation mode) และพีครองอยู่ในช่วงของฝุ่นละอองหยาบ ซึ่งฝุ่นละอองหยาบอาจเกิดจากการตัดโลหะทำให้เกิดฝุ่นผงของอนุภาค ส่วนฝุ่นละอองละเอียดอาจเกิดจากไอระเหยที่เกิดจากการตัดโลหะด้วยความร้อนจับตัวอยู่บนพื้นผิวของอนุภาค (adsorption) หรือเกิดจากการรวมตัวกันของฝุ่นละอองละเอียดมาก (agglomeration) (AFSCME, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jenkins *et al.* (2005) ที่พบว่าการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากการตัด-เชื่อมโลหะด้วยความร้อนมีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีพีคหลักอยู่ในช่วง Accumulation mode และ พีครองอยู่ในช่วง Coarse mode เมื่อเทียบรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองกับวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่แตกต่างกัน โดยวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อนลักษณะของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจะเป็นการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution มีพีคหลักอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบซึ่งมีการกระจายตัวสูงกว่าวันที่มีกิจกรรมตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน นอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวรองลงมาสองพีคอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบและฝุ่นละอองละเอียด



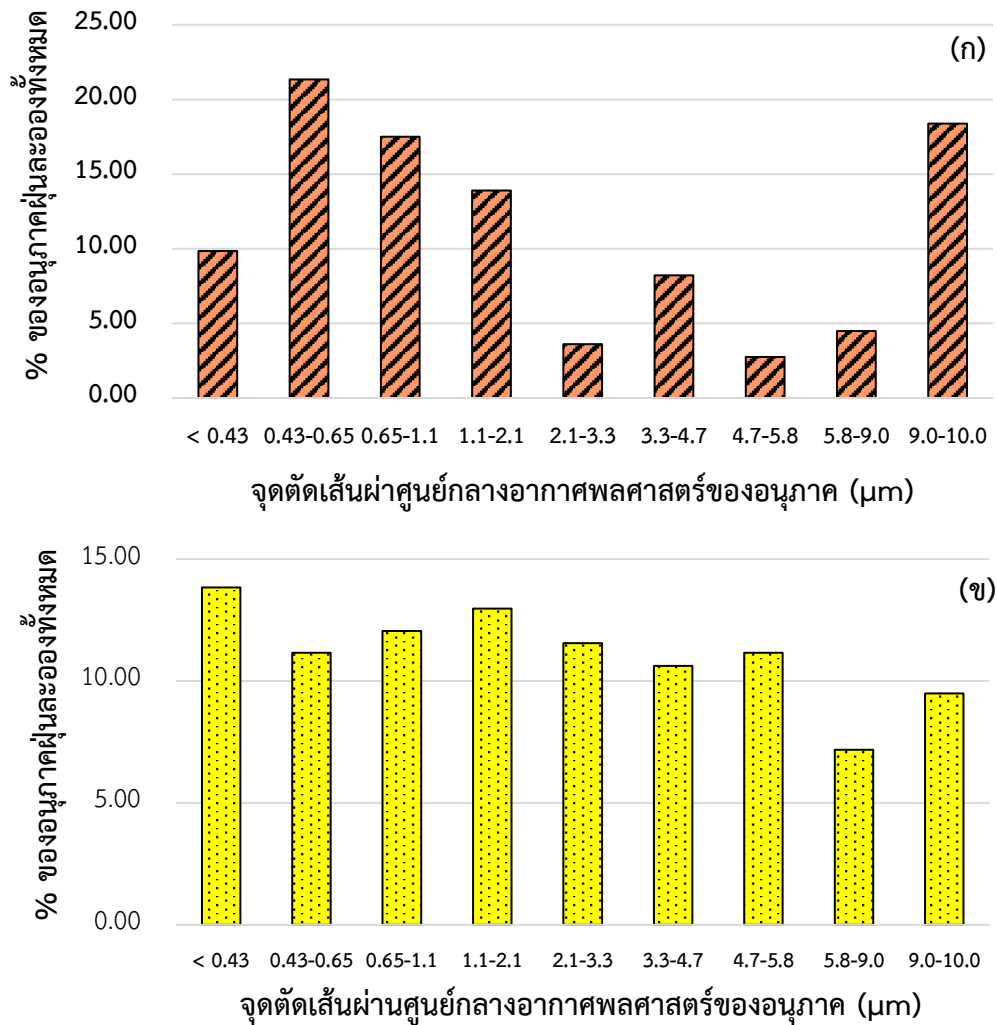
รูปที่ 4.6 รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดชิ้นส่วนขยอะเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน

4.1.3 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาสายไฟในระดับห้องปฏิบัติการ

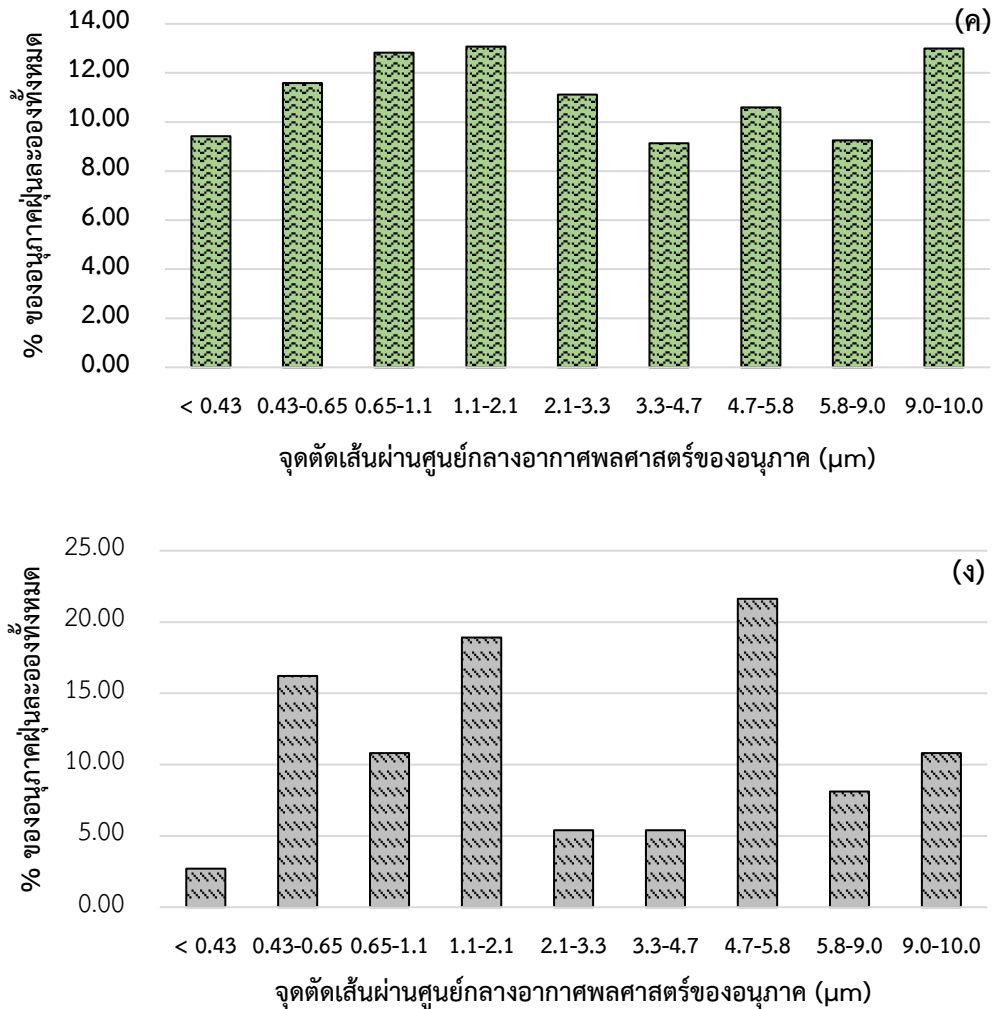
การเผาสายไฟในที่โล่งแจ้งเพื่อแยกทองแดงในระดับห้องปฏิบัติการ ที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นการจำลองสภาวะการทำงานการเผาสายไฟในที่โล่งของร้านค้าของเก่า ซึ่งมักลักลอบเผาในเวลาากลางคืน การทดลองนี้ใช้สายไฟที่ซื้อจากร้านค้าของเก่ากองบนพื้นที่โล่งทำการเผาครั้งละ 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 30 นาที โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ 8-Stage Cascade Impactor ที่อัตราการไหล 28.3 ลิตรต่อนาที (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-13 ถึง ข-16, ภาคผนวก ข) เป็นระยะเวลา 30 นาที ในทิศทางปลายลมห่างจากจุดเผา 1.5 เมตร ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.5 เมตร ในวันที่ 1 พฤษภาคม และวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 และเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในขณะที่ไม่มีการเผาสายไฟ ในวันที่ 12 พฤษภาคม 2558 ได้ผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-29 ถึง ข-32 ภาคผนวก ข) แสดงความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการเผาสายไฟในที่โล่งพบว่า ในวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 101.31-790.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีแนวโน้มกระจายตัวความเข้มข้นของฝุ่นละอองไปทางฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.1 ไมโครเมตร ยกเว้นฝุ่นละอองขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตรจะมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับฝุ่นละอองขนาด 0.65-1.1 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองขนาด <math><0.43</math> ไมโครเมตรจะมีความเข้มข้นต่ำ (รูปที่ 4.7 ก) ส่วนในวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 879.80-1,694.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่

ในช่วง 1,045.60-1,495.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดมีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.7 ข-ค) ในขณะที่วันที่ไม่ทำการเผาสายไฟ (วันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2558) พบว่า มีความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดอยู่ในช่วง 4.08-32.62 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองมากที่สุดในอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร รองลงมาคืออนุภาคขนาด 1.1-2.1 ไมโครเมตร และขนาด 0.43-0.65 ไมโครเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.7 ง)



รูปที่ 4.7 สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟในที่โล่ง แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 1 พฤษภาคม 2558 (ก) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1 (ข) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2 (ค) และในวันที่ไม่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง 20 สิงหาคม 2558 (ง)

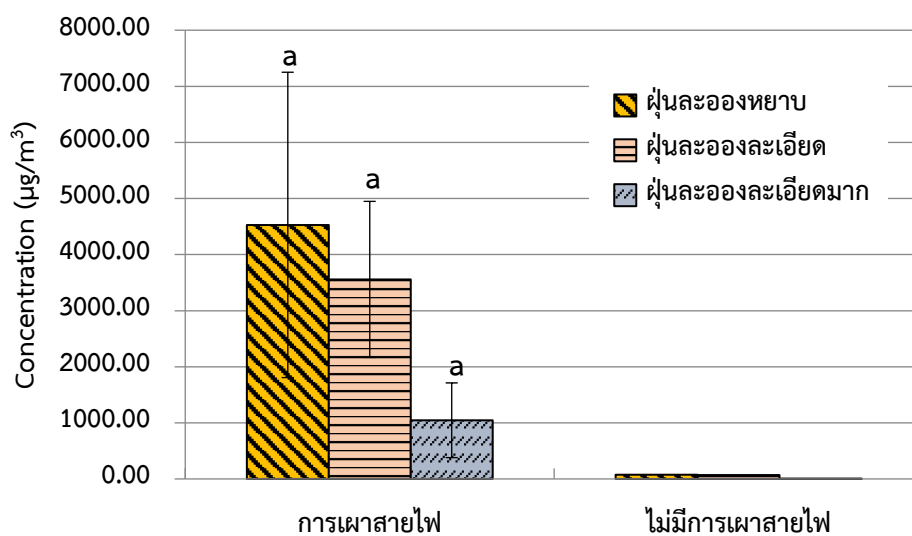


รูปที่ 4.7 สัดส่วนความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟในที่โล่ง แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 1 พฤษภาคม 2558 (ก) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1 (ข) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2 (ค) และในวันที่ไม่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง 20 สิงหาคม 2558 (ง) (ต่อ)

จากผลการทดลองพบว่า การเผาสายไฟในแต่ละครั้งมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองในแต่ละขนาดแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สภาวะในการเผาไหม้ และสภาพบรรยากาศที่แตกต่างกัน

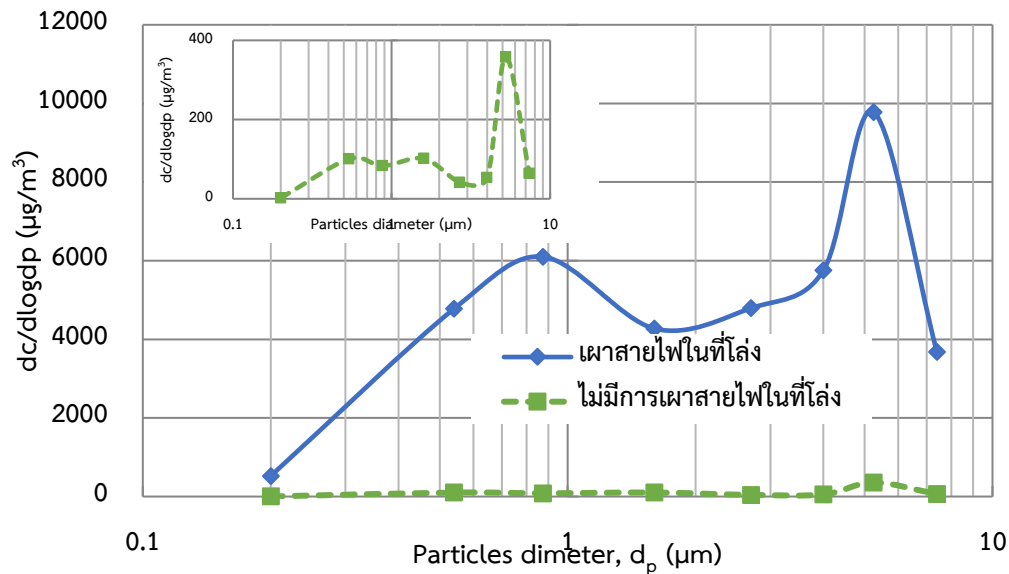
เมื่อนำผลของฝุ่นละอองแต่ละขนาดที่ได้มาจัดจำแนกกลุ่มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออกเป็น 3 ประเภท พบว่าในการเผาสายไฟพบฝุ่นละอองหยาบมีความเข้มข้นมากที่สุด ($4,529.03 \pm 2,722.09$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) รองลงมาคือ ฝุ่นละอองละเอียด ($3,557.50 \pm 1,391.11$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และฝุ่นละอองละเอียดมาก ($1,045.82 \pm 665.58$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-33 ภาคผนวก ข) ฝุ่นละอองหยาบอาจเกิดจากเขม่าควันขณะทำการเผาสายไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของฉนวน และเปลือกหุ้มสายไฟซึ่งมีพลาสติกเป็นองค์ประกอบหลัก (วชร และคณะ, 2549)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panagiotou and Levendis (1994) ที่พบว่า การเผาพลาสติกจะทำให้เกิดอนุภาคขนาดตั้งแต่ 53 ถึง 300 ไมโครเมตร ส่วนฝุ่นละอองละเอียดอาจเกิดจากไอระเหยที่เกิดจากการเผาสายไฟจับตัวอยู่บนพื้นผิวของอนุภาค (adsorption) หรือเกิดจากการรวมตัวกันของฝุ่นละอองละเอียดมาก (agglomeration) อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบด้วย LSD-ANOVA พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ 4-3 ภาคผนวก ข) เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองในวันที่มีการเผาสายไฟกับไม่มีการเผาสายไฟ พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟมากกว่าในวันที่ไม่เผาสายไฟอย่างเห็นได้ชัด



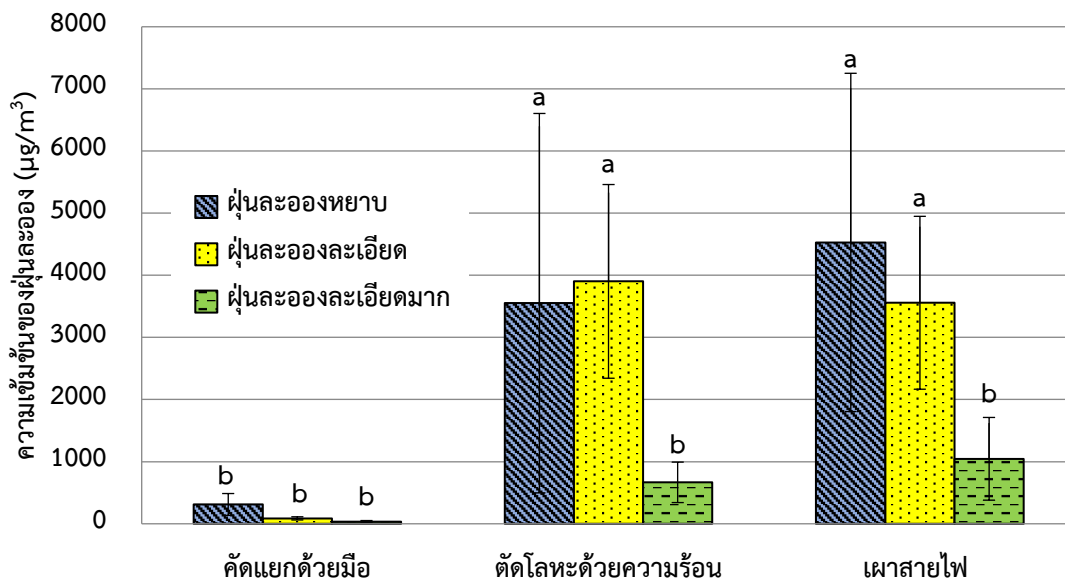
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการเผาสายไฟระดับห้องปฏิบัติการ แบ่งตามขนาดของอนุภาค

เมื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองจากการเผาสายไฟ พบว่าฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟมีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีพีคหลักอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และมีพีครองอยู่ในช่วงฝุ่นละอองละเอียด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gullett *et al.* (2007) ที่พบว่ามีการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟในที่โล่งแบบ Bimodal distribution ส่วนฝุ่นละอองในวันที่ไม่มีการเผาสายไฟมีการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution โดยมีพีคหลักอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และมีพีครองสองพีคอยู่ในช่วงฝุ่นละอองละเอียด ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองในวันที่ทำการเผาสายไฟและในวันที่ไม่เผาสายไฟมีลักษณะแตกต่างกัน และในวันที่ทำการเผาสายไฟมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองมากกว่าวันที่ไม่เผาสายไฟอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 รูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการเผาสายไฟระดับห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละออง พบว่าในวันที่มีการดำเนินกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่งแจ้ง จะมีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) มากกว่าวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดแยกอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ ยังพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟและการตัดโลหะด้วยความร้อนมีค่ามากกว่าการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือในทุกขนาดของอนุภาค เมื่อเปรียบเทียบกับสถิติแบบ LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียดที่เกิดจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) แต่แตกต่างจากความเข้มข้นของฝุ่นละอองละเอียดมากอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) ในขณะที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองละเอียดมากของทั้งสามกิจกรรมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) ดังรูปที่ 4.10 (ดูรายละเอียดในรูปที่ ข-4 ภาคผนวก ข) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการตัดโลหะชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่งแจ้ง ทำให้เกิดฝุ่นละอองมากกว่ากิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ



รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 กิจกรรม แบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค

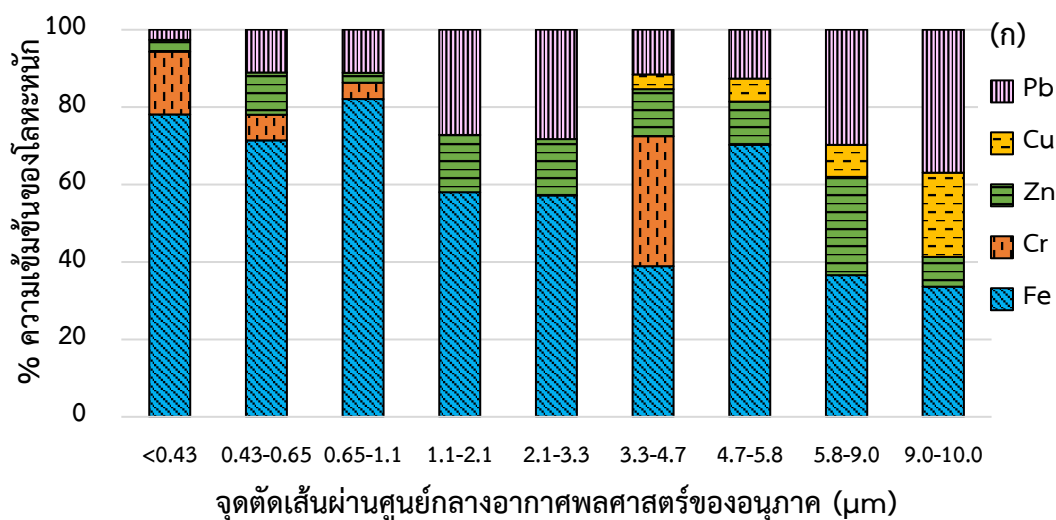
4.2 การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ จากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ จากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทำโดยสกัดโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรองโดยดัดแปลงวิธี Compendium Method IO-3.2 (U.S. EPA, 1999a) และนำไปวิเคราะห์สารโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) กราฟมาตรฐาน และค่าร้อยละการคำนวณกลับของโลหะหนัก ดังแสดงในภาคผนวก ฉ โดยโลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ Fe, Cr, Zn, Pb, Cu และ Mn (Damrongsiri *et al.*, 2016) ได้ผลการศึกษาดังนี้

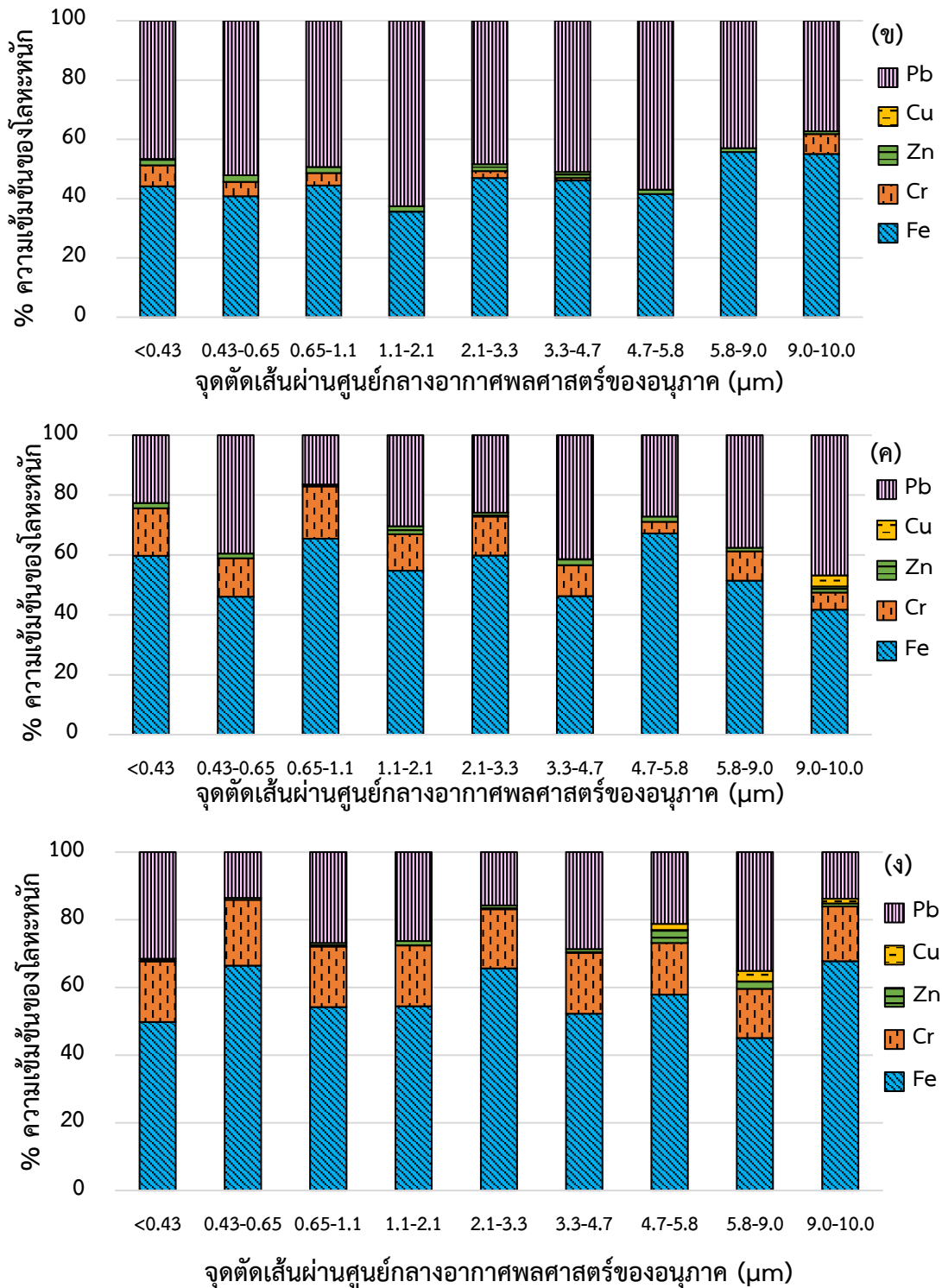
4.2.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาดที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ

การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือรูป ผลการศึกษาพบความเข้มข้นของโลหะหนักคือ Fe, Cr, Zn, Cu และ Pb แต่ไม่พบความเข้มข้นของ Mn แสดงดังรูปที่ 4.11 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1 ถึง ค-8 ภาคผนวก ค) แสดงสัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาดที่เกิดจากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ พบว่าในวันที่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (วันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2558) ฝุ่นละอองส่วนใหญ่พบว่าเหล็ก (Fe) เป็นโลหะหนักบนฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมา คือตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ตามลำดับ ยกเว้นฝุ่นละอองขนาด <0.43 ไมโครเมตร พบโลหะ Fe มากที่สุด รองลงมาคือ โครเมียม (Cr) ฝุ่น

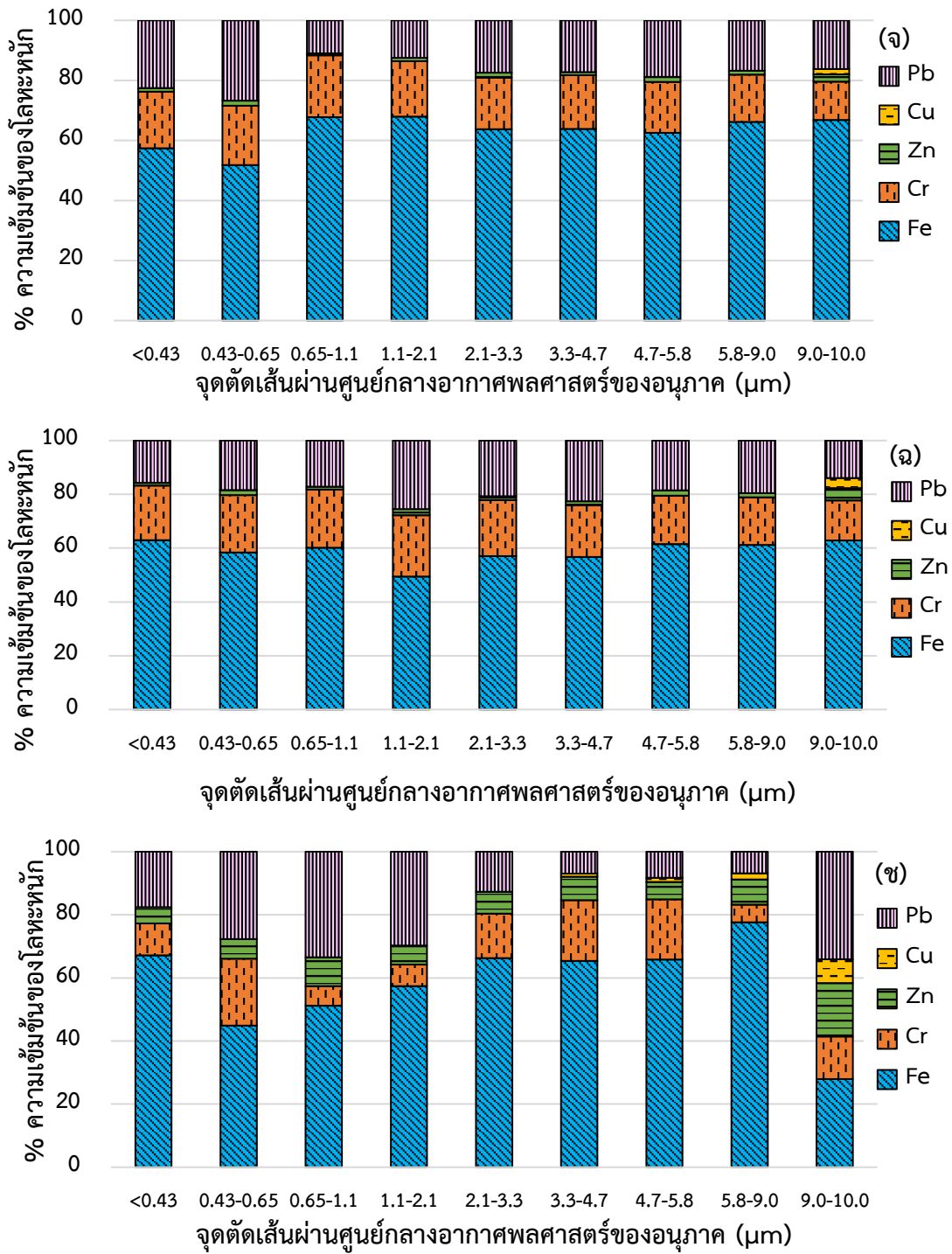
ละอองขนาด 3.3-4.7 ไมโครเมตร พบโลหะ Cr มากที่สุด รองลงมา คือ Fe และ Pb ตามลำดับ ผุ่นละอองขนาด 5.8-9.0 ไมโครเมตร พบโลหะ Zn มากที่สุด รองลงมา คือ Fe และ Cr ตามลำดับ ผุ่นละอองขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตร พบโลหะ Pb มากที่สุด รองลงมา คือ Fe และ Cu ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 ก) ในวันที่ 8 เมษายน พ.ศ. 2558 พบ Pb มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมา คือ Fe และ Cr ตามลำดับ ยกเว้นผุ่นละอองขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตร พบ Fe มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมา คือ Pb และ Cr ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 ข) ในวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2558 พบ Fe เป็นโลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมา คือ Pb และ Cr ตามลำดับ ยกเว้นผุ่นละอองขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตร พบโลหะ Pb มากที่สุด รองลงมา คือ Fe และ Cr ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 ค) ในวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2558 พบ Fe เป็นโลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมา คือ Pb และ Cr ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 ง) ในวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2558 โลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ Fe พบมากที่สุด ส่วน Cr และ Pb มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.11 จ) และในวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2558 โลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุด คือ Fe พบมากที่สุด รองลงมา คือ Cr และ Pb ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 ฉ) เมื่อเทียบกับวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือภายในร้านค้าของเก่าในวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2558 พบว่า Fe เป็นโลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมา คือ Pb และ Cr ตามลำดับ ยกเว้นผุ่นละอองขนาด 9.0-10.0 ไมโครเมตร พบโลหะ Pb มากที่สุด รองลงมา คือ Fe, Cr และ Zn ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 ซ) แต่มีค่าน้อยกว่าวันที่มีกิจกรรมอย่างเห็นชัด นอกจากนี้ ยังพบว่าโลหะหนักในบริเวณโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่า (วันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2558) พบว่า Pb เป็นโลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ Cr และ Fe ตามลำดับ (รูปที่ 4.11 ซ) โดยมีความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยกว่าบริเวณร้านค้าของเก่าทั้งในวันที่มีกิจกรรมและไม่มีกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ดังในรูปที่ 4.11



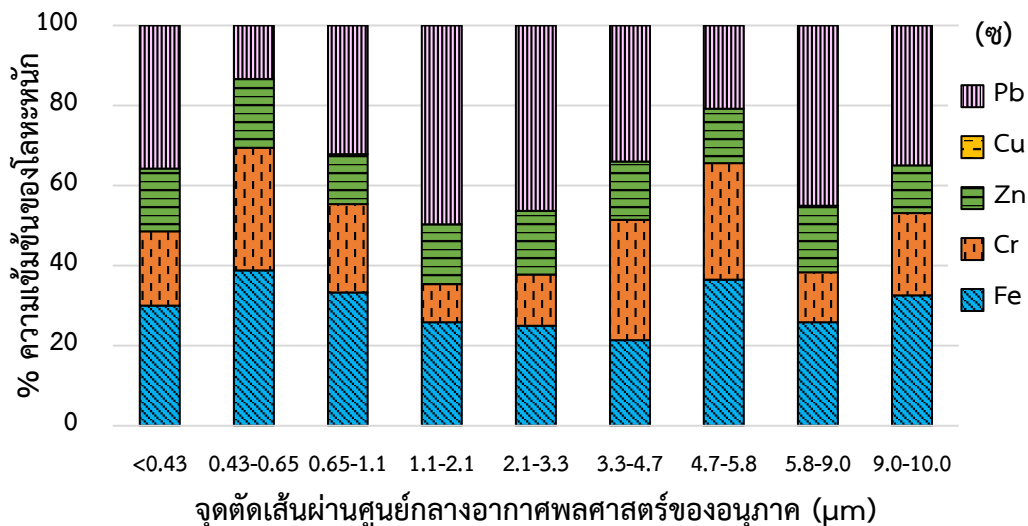
รูปที่ 4.11 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนผุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 6 เมษายน 2558 (ก) 8-10 เมษายน 2558 (ข-ง) และ 20-21 เมษายน 2558 (จ-ฉ) ในวันที่ไม่มีกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 7 เมษายน 2558 (ซ) และโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่าวันที่ 22 เมษายน 2558 (ซ)



รูปที่ 4.11 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 6 เมษายน 2558 (ก) 8-10 เมษายน 2558 (ข-ง) และ 20-21 เมษายน 2558 (จ-ฉ) ในวันที่ไม่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 7 เมษายน 2558 (ช) และโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่าวันที่ 22 เมษายน 2558 (ซ) (ต่อ)



รูปที่ 4.11 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 6 เมษายน 2558 (ก) 8-10 เมษายน 2558 (ข-ง) และ 20-21 เมษายน 2558 (จ-ฉ) ในวันที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 7 เมษายน 2558 (ช) และโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่าวันที่ 22 เมษายน 2558 (ซ) (ต่อ)



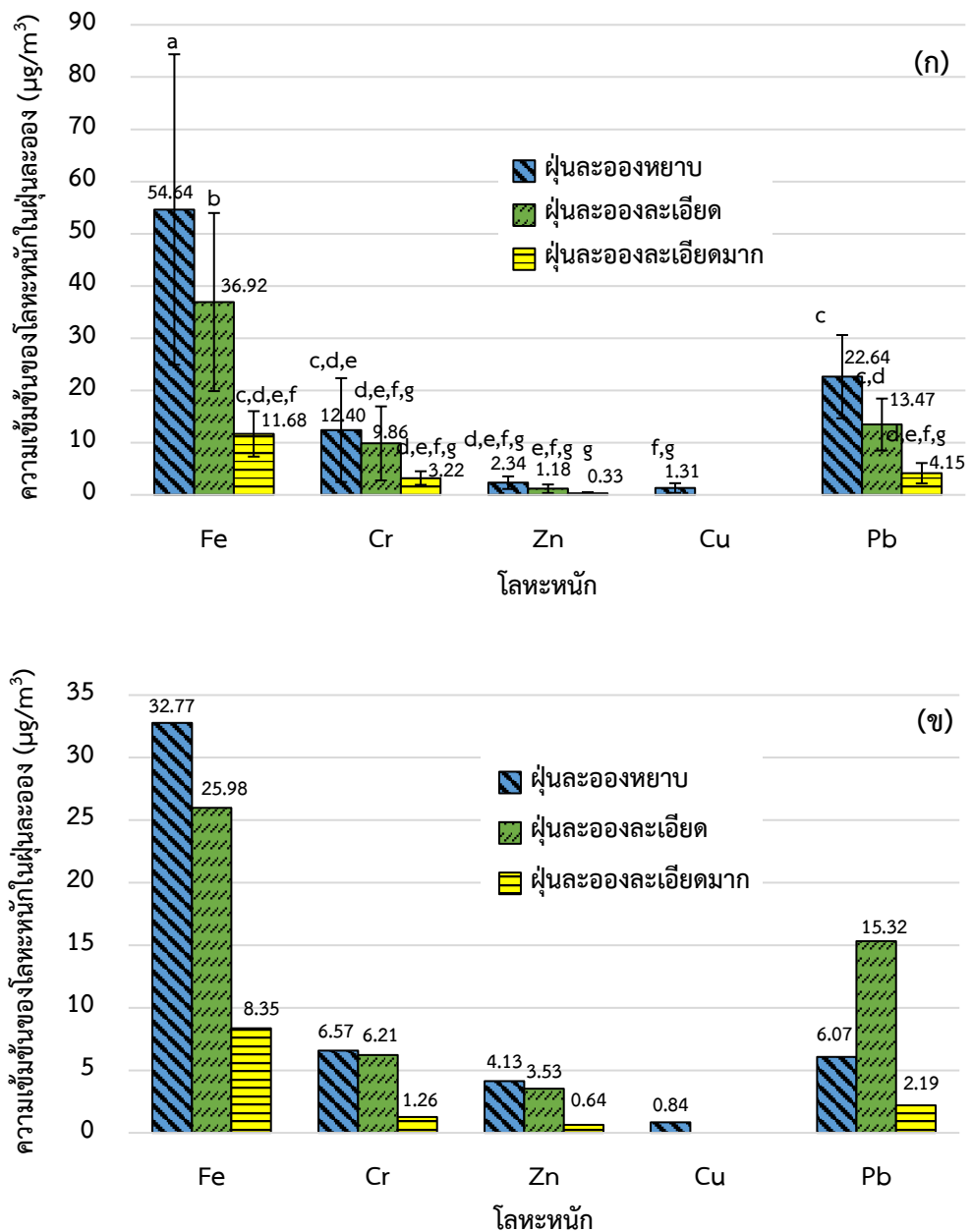
รูปที่ 4.11 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 6 เมษายน 2558 (ก) 8-10 เมษายน 2558 (ข-ง) และ 20-21 เมษายน 2558 (จ-ฉ) ในวันที่ไม่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ 7 เมษายน 2558 (ช) และโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่าวันที่ 22 เมษายน 2558 (ซ) (ต่อ)

เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดบนฝุ่นละอองตามขนาดของอนุภาคจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-17, ภาคผนวก ค) พบว่าความเข้มข้นของ Fe ที่จับบนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียดและฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 54.64 ± 29.72 , 36.92 ± 17.05 และ 11.68 ± 4.35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Fe ที่จับบนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-5 ภาคผนวก ช) ความเข้มข้นของ Cr ที่จับบนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 12.40 ± 9.95 , 9.86 ± 7.09 และ 3.22 ± 1.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Cr ที่จับบนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-5 ภาคผนวก ช) ขณะที่ความเข้มข้น Zn ที่จับบนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 2.34 ± 1.20 , 1.18 ± 0.82 และ 0.33 ± 0.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความเข้มข้นบนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-5 ภาคผนวก ช) ส่วน Pb มีความเข้มข้นบนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 22.64 ± 7.97 , 13.47 ± 4.97 และ 4.15 ± 1.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

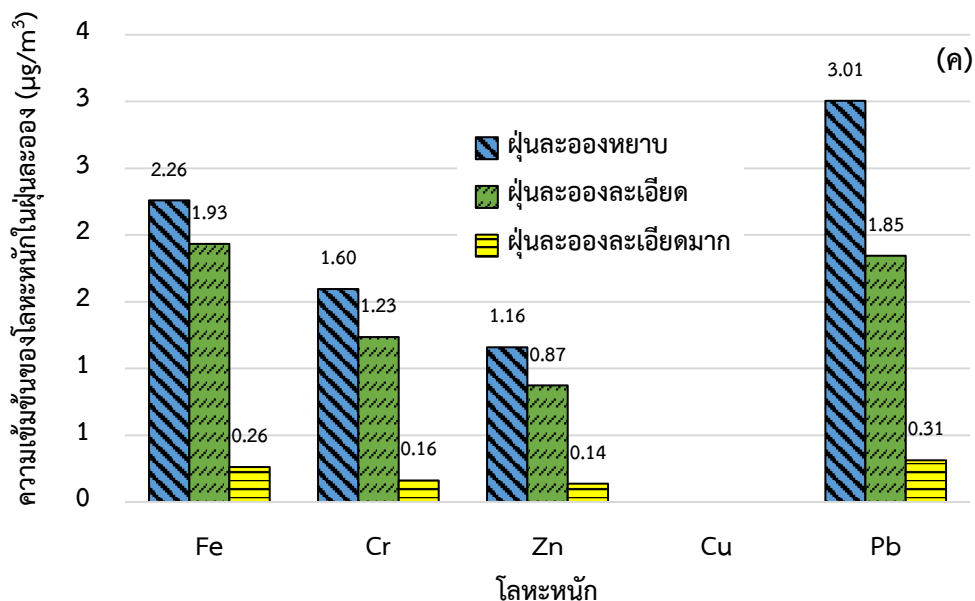
เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Pb ที่จับบนฝุ่นละอองหยาบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากฝุ่นละอองละเอียด ($p\text{-value} > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากฝุ่นละอองละเอียดมาก ($p\text{-value} < 0.05$) ในขณะที่ความเข้มข้น Pb บนฝุ่นละอองละเอียดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับฝุ่นละอองละเอียดมาก ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ๕-5 ภาคผนวก ข) ส่วน Cu พบเฉพาะในฝุ่นละอองหยาบเพียงอย่างเดียว (1.31 ± 0.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ๕-5 ภาคผนวก ข)

จากผลการทดลองพบว่า Fe เป็นโลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ Pb, Cr, Zn และ Cu ตามลำดับ โดยพบโลหะหนักเหล่านี้บนฝุ่นละอองหยาบมากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นละอองละเอียดและฝุ่นละอองละเอียดมาก ตามลำดับ ยกเว้น Cu พบเฉพาะในฝุ่นละอองหยาบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาคัดแยกมีโลหะหนักต่าง ๆ ได้แก่ Fe, Pb, Cr, Zn, Cu เป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะ Fe ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang *et al.* (2016) ที่พบว่ามีความเข้มข้นของ Fe สูงในฝุ่นละอองที่เก็บตัวอย่างจากแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ใน Qingyuan ประเทศจีน นอกจากนี้ยังพบว่า Fe เป็นโลหะที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในดินที่เก็บตัวอย่างจากชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ภายในซอยเสือใหญ่อุทิต (Damrongsiri *et al.*, 2016) ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือส่วนใหญ่มีความเข้มข้นมากกว่าวันที่ไม่มีกิจกรรม รวมถึงมากกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่าอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-17 ภาคผนวก ค)

เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าในฝุ่นละอองหยาบ มีความเข้มข้นของ Fe แตกต่างกับ Cr, Zn Cu และ Pb อย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) ขณะที่ความเข้มข้นของ Pb กับ Zn และ Cu แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) เช่นเดียวกับความเข้มข้นของ Cr กับ Cu ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) แต่ความเข้มข้นของ Cr กับ Zn และ Pb และ Zn กับ Cu ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) ส่วนในฝุ่นละอองละเอียด พบว่าความเข้มข้นของ Fe มีค่าแตกต่างจาก Pb, Cr และ Zn อย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) เช่นเดียวกับความเข้มข้นของ Pb กับ Zn ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) แต่ความเข้มข้นของ Cr กับ Zn และ Pb ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) โดยในฝุ่นละอองละเอียดมากมีเพียงความเข้มข้นของ Fe และ Zn ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) ในขณะที่ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดอื่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ๕-5 ภาคผนวก ข)



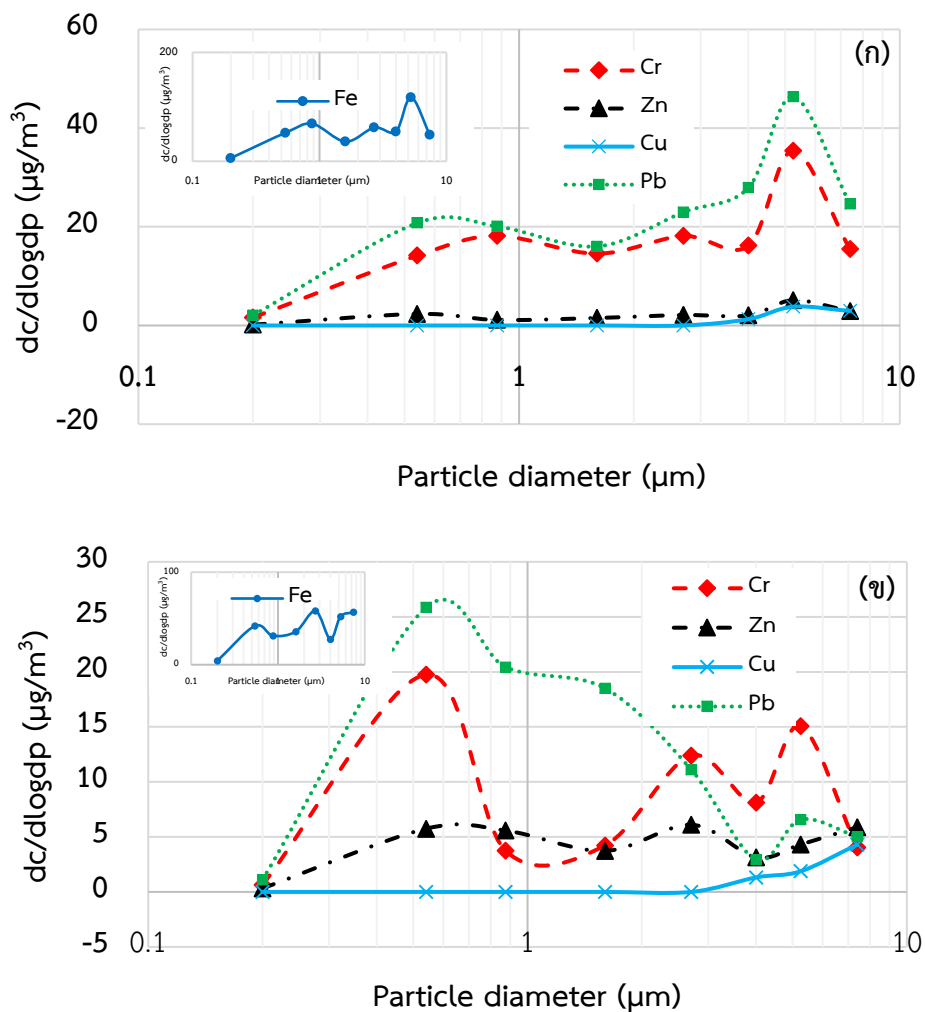
รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยมือแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค ในวันที่มีกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยมือ (ก) วันที่ไม่มีการทำงาน (ข) และโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่า (ค)



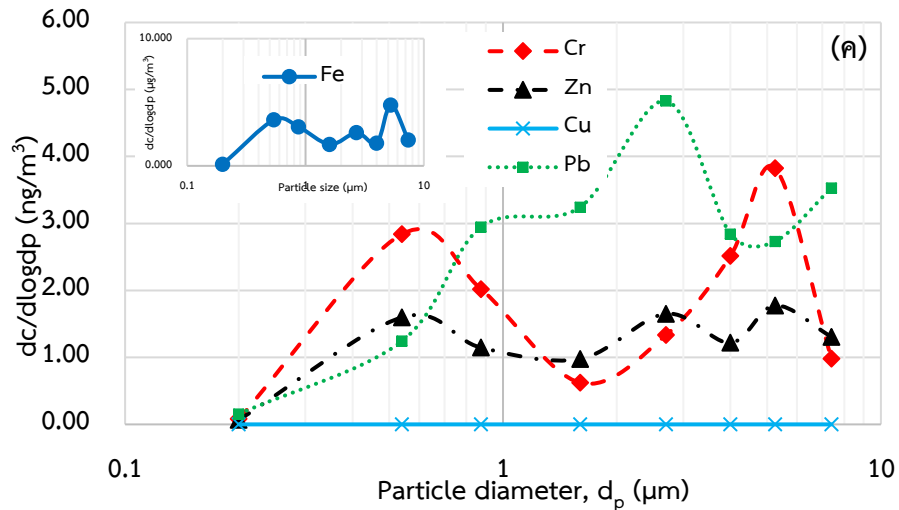
รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค ในวันที่มีกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (ก) วันที่ไม่มีการทำงาน (ข) และโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่า (ค) (ต่อ)

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ พบว่าการกระจายตัวของโลหะหนักแต่ละชนิดบนฝุ่นละอองในวันที่ทำการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือมีความแตกต่างกัน โดย Fe และ Cr มีการกระจายตัวในลักษณะแบบ Trimodal distribution มีพีคหลักอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบและมีพีครอง 2 พีคอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และในช่วง Accumulation mode ตามลำดับ ส่วน Zn มีลักษณะการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution ที่มีพีคหลักอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบและมีพีครอง 2 พีคอยู่ในช่วง Accumulation mode และช่วงฝุ่นละอองหยาบ ตามลำดับ ขณะที่ Pb มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution ที่มีพีคหลักอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และพีครองอยู่ในช่วง Accumulation mode ส่วน Cu เป็นโลหะหนักที่มีลักษณะการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ (รูปที่ 4.13 ก) เมื่อเทียบกับวันที่ไม่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือพบว่า ลักษณะการกระจายตัวของ Pb, Zn และ Cu คล้ายคลึงกับในช่วงที่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ยกเว้น Cr จะมีการกระจายตัว Trimodal distribution ที่มีพีคหลักอยู่ในช่วง Accumulation mode และมีพีครอง 2 พีคอยู่บนฝุ่นละอองหยาบ และ Pb ที่มีลักษณะการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีพีคหลักอยู่ในช่วง Accumulation mode และมีพีครองอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ (รูปที่ 4.13 ข) การกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในบริเวณโรงเรียนใกล้กับแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์พบว่า Fe และ Zn มีการกระจายตัวแบบ Trimodal

distribution โดย Fe มีพีคหลังอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และพีครอง 2 พีคในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ Zn มีพีคหลักอยู่ในช่วง Accumulation mode และพีครอง 2 พีคในช่วงฝุ่นละอองหยาบ ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของ Fe และ Zn มีลักษณะใกล้เคียงกับการกระจายตัวในวันที่มีการทำงานคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ในขณะที่ Cr และ Pb มีการกระจายตัวแตกต่างจากวันที่มีการทำงาน Cr พบว่ามีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีพีคหลักอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และพีครองอยู่ในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ Pb พบการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ สำหรับ Cu ไม่พบการกระจายตัวของ Cu ในฝุ่นละอองบริเวณโรงเรียน



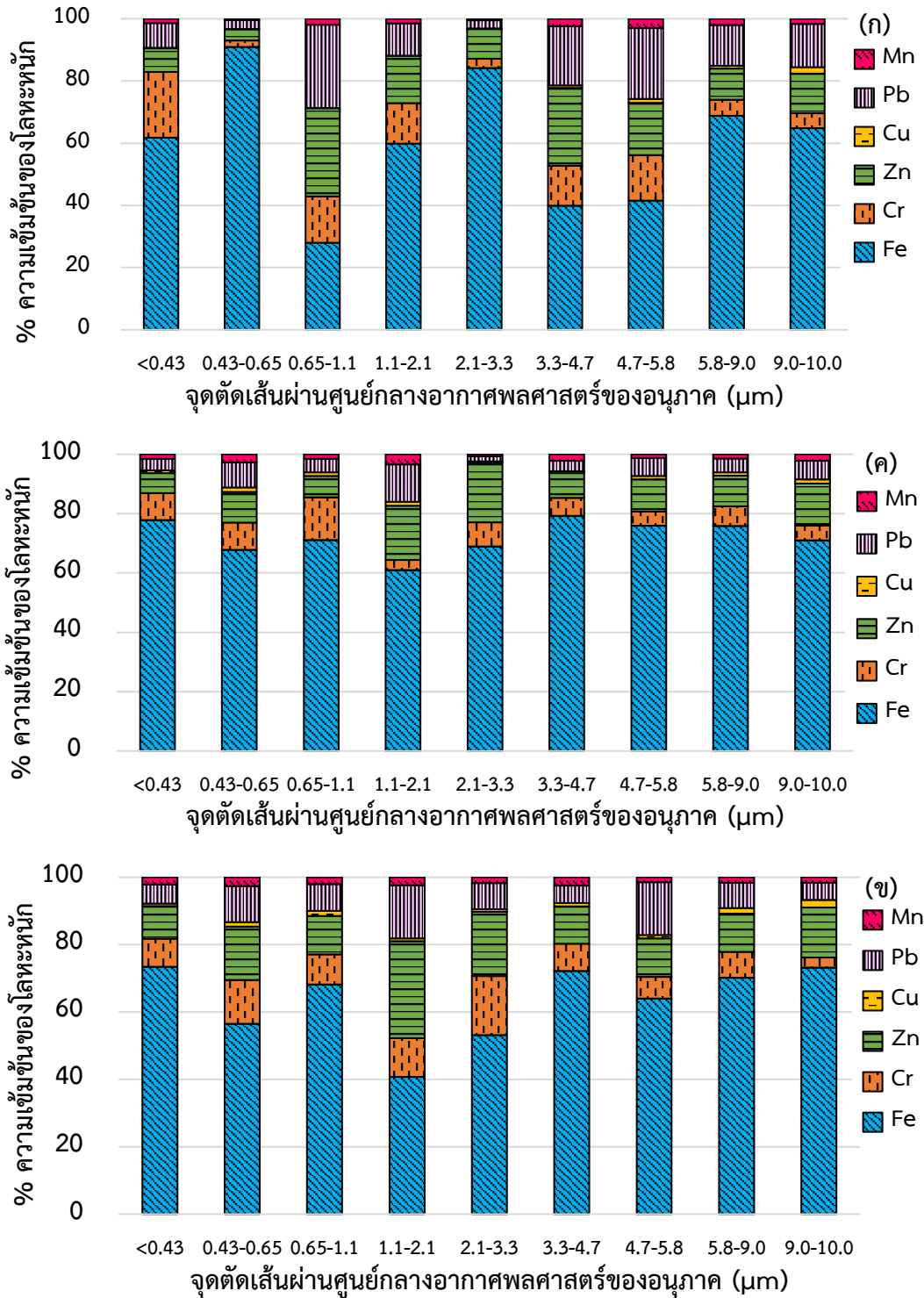
รูปที่ 4.13 รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือในวันที่มีกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (ก) วันที่ไม่มีการทำงาน (ข) และโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่า (ค)



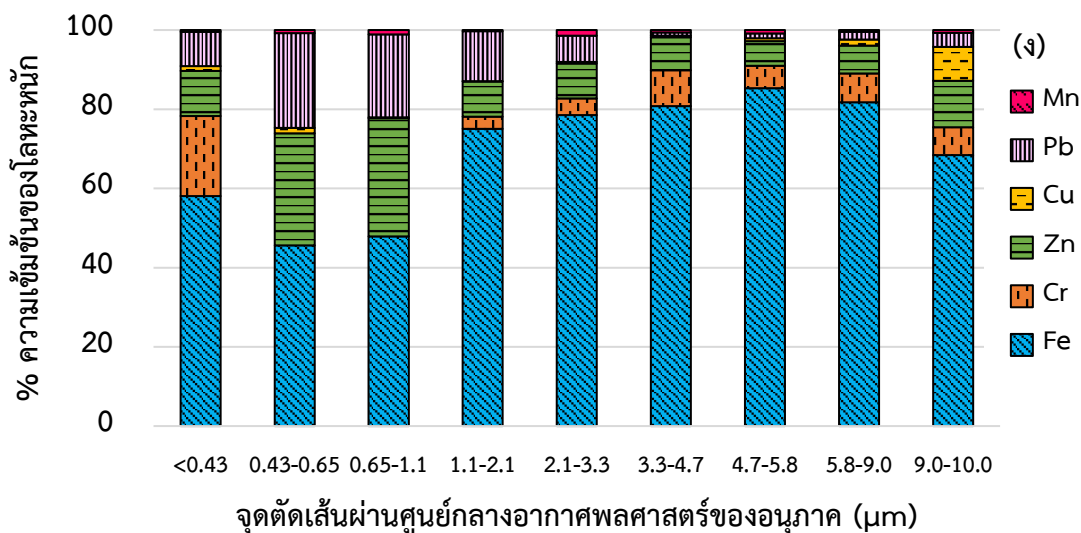
รูปที่ 4.13 รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือในวันที่มีกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (ก) วันที่ไม่มีการทำงาน (ข) และโรงเรียนใกล้กับร้านค้าของเก่า (ค) (ต่อ)

4.2.2 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน

การวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักบนฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดโลหะด้วยความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.14 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-9 ถึง ค-12 ภาคผนวก ค) สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาดที่เกิดจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน พบว่าในวันที่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนในร้านค้าของเก่า ในวันที่ 29 เมษายน 2558 พบว่าฝุ่นละอองส่วนใหญ่ Fe มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ Zn และ Pb ตามลำดับ ยกเว้นบนฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 4.7 ไมโครเมตร ขึ้นไป ที่ความเข้มข้นของ Pb มากกว่า Zn และบนฝุ่นละอองขนาด <0.43 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นของ Cr มีมากรองลงมาจาก Fe (รูปที่ 4.14 ก) ในวันที่ 27 สิงหาคม 2558 พบว่าฝุ่นละอองมีความเข้มข้นของ Fe มากที่สุด และส่วนใหญ่รองลงมาคือ Zn ยกเว้น บนฝุ่นละอองขนาด 0.65-1.1 และ <0.43 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นของ Cr มาก รองลงมาจาก Fe (รูปที่ 4.14 ข) และในวันที่ 18 ธันวาคม 2558 พบว่าฝุ่นละอองทุกขนาดมีความเข้มข้นของ Fe มากที่สุด รองลงมาคือ Zn และ Cr ยกเว้นบนฝุ่นละอองขนาด 4.7-5.8 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นของ Pb มากกว่า Zn (รูปที่ 4.14 ค) เมื่อเทียบกับวันที่ไม่มีกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อนในร้านค้าของเก่า แต่มีกิจกรรมอื่นในร้าน วันที่ 20 สิงหาคม 2558 พบว่าฝุ่นละอองทุกขนาดยังคงมีความเข้มข้นของ Fe สูงที่สุด และรองลงมาคือ Zn (รูปที่ 4.14 ง) ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่ไม่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนอย่างเห็นได้ชัด



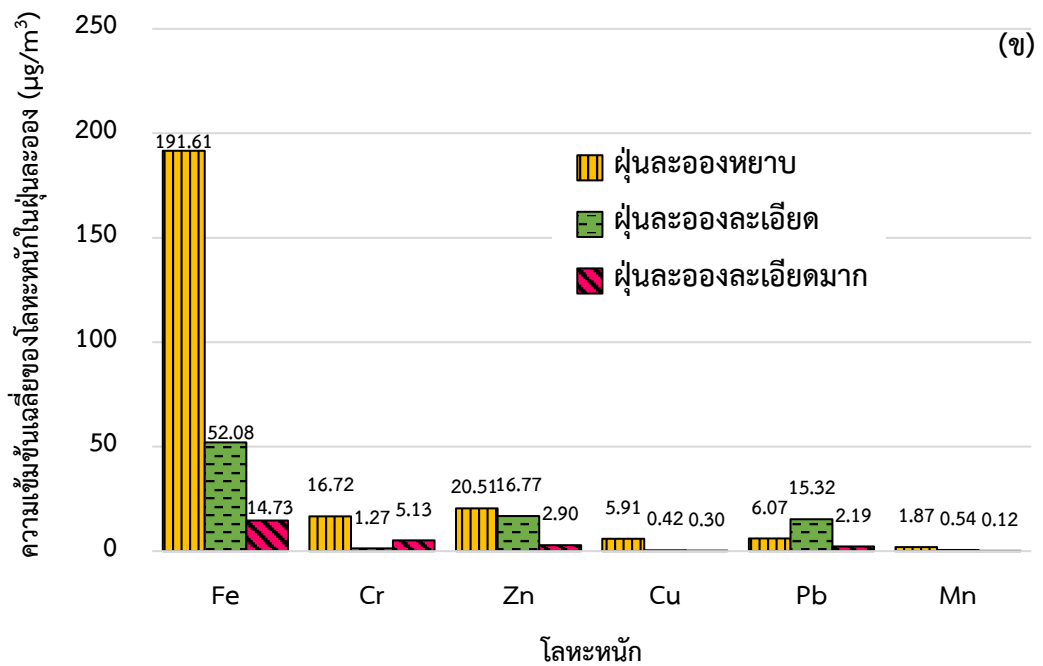
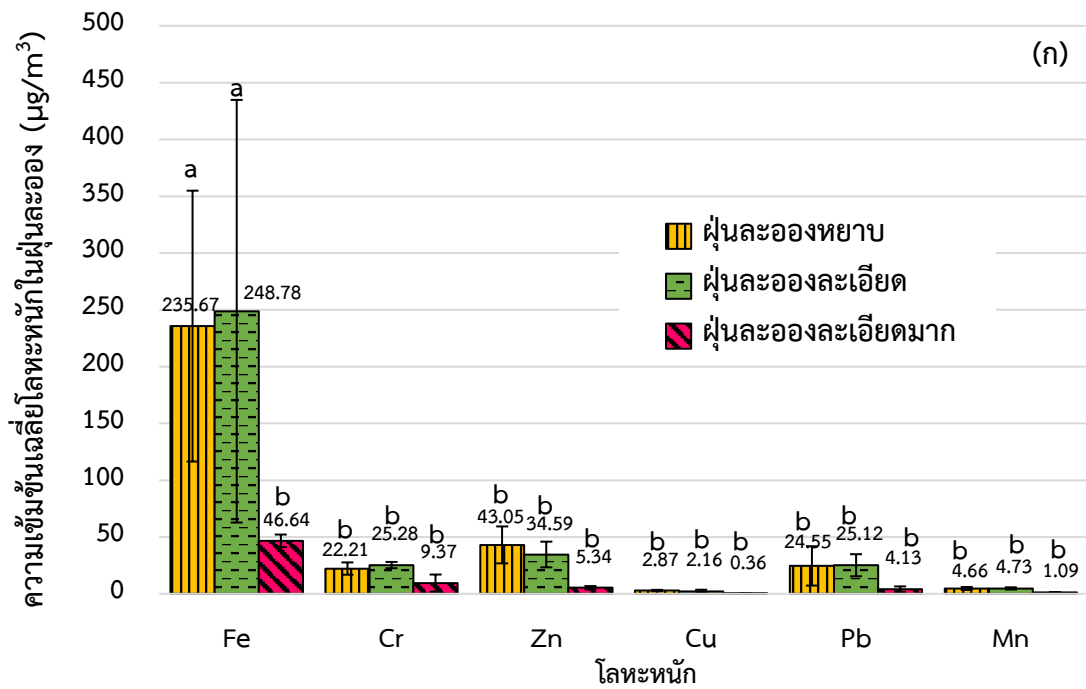
รูปที่ 4.14 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 29 เมษายน 2558 (ก) 27 สิงหาคม 2558 (ข) และ 18 ธันวาคม 2558 (ค) ในวันที่ไม่มีการตัดชิ้นส่วน ชะเอออิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน 20 สิงหาคม 2558 (ง)



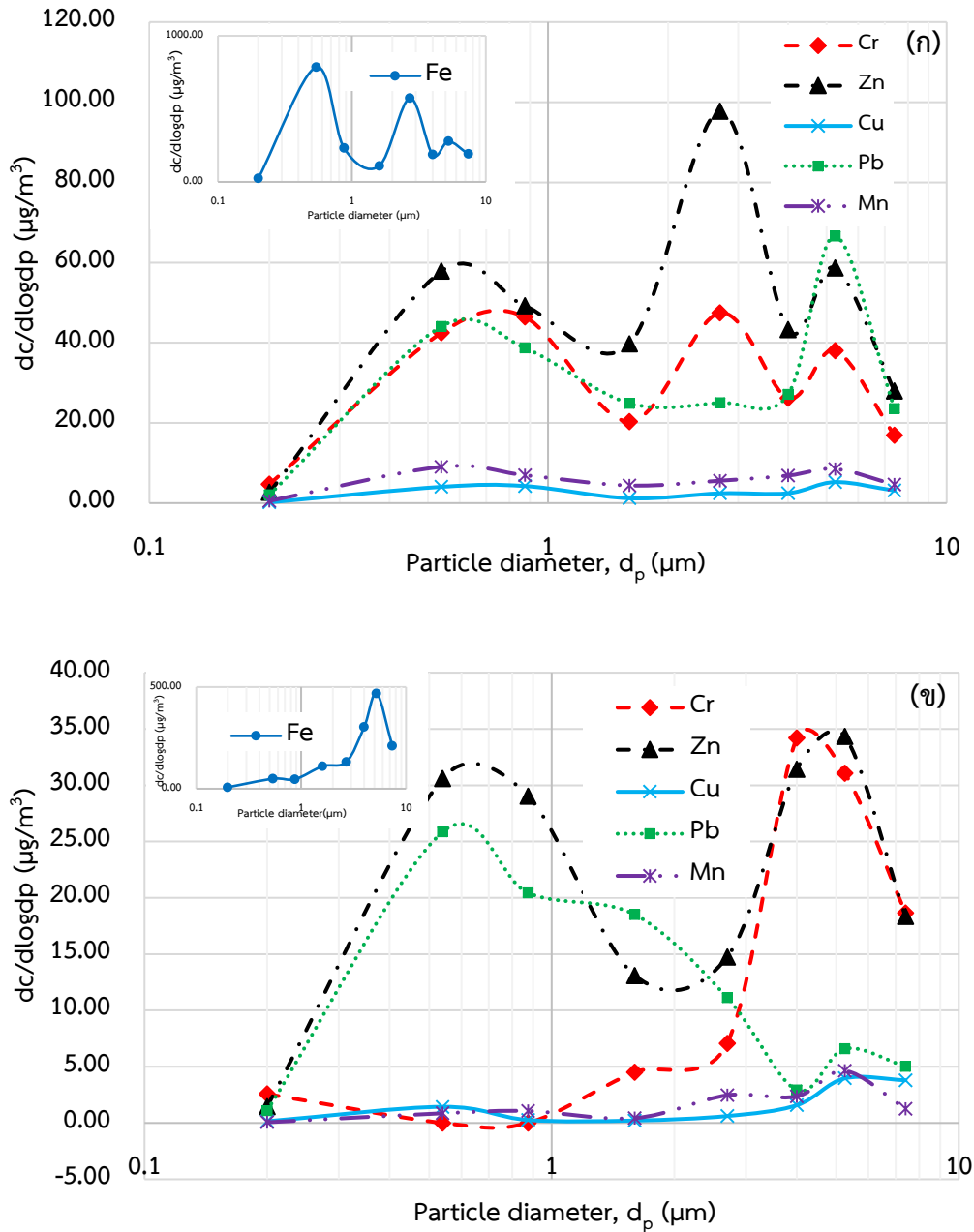
รูปที่ 4.14 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน แบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 29 เมษายน 2558 (ก) 27 สิงหาคม 2558 (ข) และ 18 ธันวาคม 2558 (ค) ในวันที่ไม่มีการตัดชิ้นส่วน ชยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน 20 สิงหาคม 2558 (ง) (ต่อ)

เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดบนฝุ่นละอองตามขนาดของอนุภาคจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-18, ภาคผนวก ค) พบว่าความเข้มข้นของ Fe อยู่บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 235.67 ± 119.24 , 248.78 ± 186.07 และ 46.64 ± 5.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความเข้มข้นของ Fe ที่จับบนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับฝุ่นละอองละเอียดมาก ($p\text{-value} < 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-6 ภาคผนวก ช) ความเข้มข้นของ Pb บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 24.55 ± 17.31 , 25.12 ± 9.74 และ 4.13 ± 2.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ Cr บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 22.21 ± 5.44 , 25.28 ± 2.77 และ 9.37 ± 7.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ Zn บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 43.05 ± 16.26 , 34.59 ± 11.30 และ 5.34 ± 1.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ Cu บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 2.87 ± 0.57 , 2.16 ± 1.41 และ 0.36 ± 0.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ Mn บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 4.66 ± 1.30 , 4.73 ± 0.96 และ 1.10 ± 0.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความเข้มข้นของ Pb, Cr, Zn, Cu, Mn ที่จับบนอนุภาคฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-6 ภาคผนวก ช)



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อนแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาคในวันที่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน (ก) และในวันที่มีการคัดแยกของเก่าแต่ไม่มีการตัดด้วยความร้อน (ข)



รูปที่ 4.16 รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่มีการตัดชั้นส่วนโลหะของขยะ อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน (ก) และในวันที่มีการคัดแยกของเก่าแต่ไม่มีการตัดด้วยความร้อน (ข)

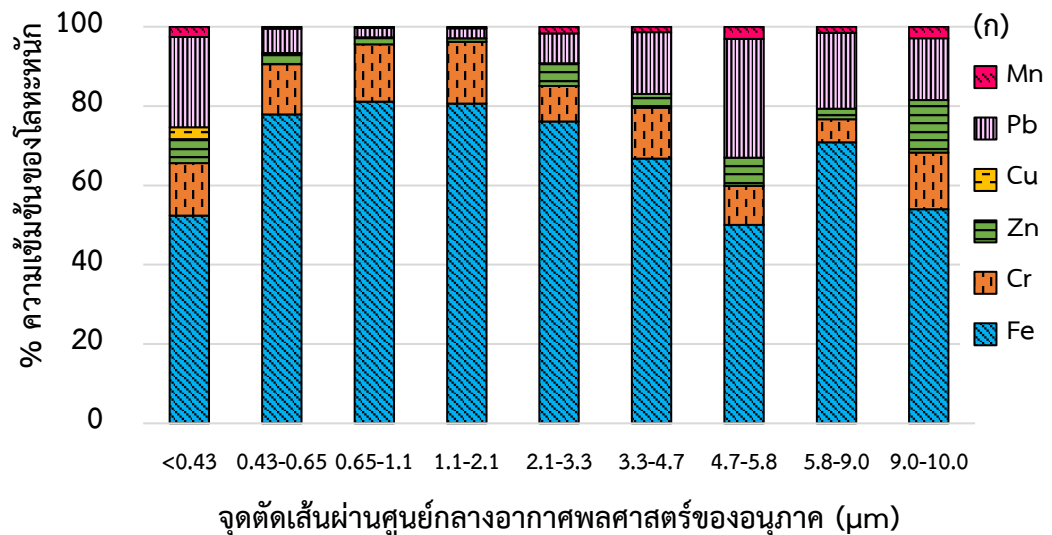
การวิเคราะห์การกระจายตัวของโลหะหนักในฝุ่นละอองจากการตัดชิ้นส่วนโลหะของขยะ อิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อนพบว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีการกระจายตัวแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ก) Fe, Cr, Zn และ Cu มีการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution โดย Fe มีการกระจายตัวสูงสุดในช่วง Accumulation mode (0.43-0.65 ไมโครเมตร) และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง ฝุ่นละอองหยาบ (2.1-3.3 และ 4.7-5.8 ไมโครเมตร ตามลำดับ) ในขณะที่ Cr และ Zn มีรูปแบบการ

กระจายตัวเหมือนกัน โดยมีการกระจายตัวสูงสุดในช่วงของฝุ่นละอองหยาบ (2.1-3.3 ไมโครเมตร) การกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode (0.43-0.65 ไมโครเมตร) และการกระจายตัวต่ำสุดในฝุ่นละอองหยาบ (4.7-5.8 ไมโครเมตร) ส่วน Cu พบการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นละอองหยาบ (4.7-5.8 ไมโครเมตร) และการกระจายตัวรองลงมา 2 พีค ในช่วง Accumulation mode (0.65-1.1 ไมโครเมตร) และการกระจายตัวต่ำสุดในฝุ่นละอองหยาบ (2.1-3.3 ไมโครเมตร) นอกจากนี้ ยังพบว่า Pb และ Mn มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดย Pb พบการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นละอองหยาบ (4.7-5.8 ไมโครเมตร) และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode (0.43-0.65 ไมโครเมตร) ขณะที่ Mn พบการกระจายตัวสูงสุดในช่วง Accumulation mode (0.43-0.65 ไมโครเมตร) และการกระจายตัวรองลงมาในช่วงฝุ่นละอองหยาบ (4.7-5.8 ไมโครเมตร) การกระจายตัวของโลหะหนักในวันที่มีการตัดโลหะด้วยความร้อนมีรูปแบบการกระจายตัวแตกต่างจากวันที่มีการตัดแยกของเก่าแต่ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน ซึ่งพบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีการกระจายตัวสูงสุดในฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode ได้แก่ Cr, Zn และ Cu ในขณะที่ Pb มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution เช่นเดียวกันแต่พบว่ามี การกระจายตัวสูงสุดในช่วง Accumulation mode และการกระจายตัวรองลงมาในช่วงฝุ่นละอองหยาบ สำหรับ Fe พบการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution ในฝุ่นละอองหยาบ และ Mn พบการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution โดยมีการกระจายตัวสูงสุดในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวรองลงมา 2 พีค ในช่วง Accumulation mode จากผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของ Fe มากที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่าการกระจายตัวของโลหะหนักในฝุ่นละอองในวันที่มีกระบวนการตัดโลหะหนักด้วยความร้อนมีรูปแบบคล้ายกับวันที่ไม่มีกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน แต่มีความชัดเจนของพีคมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้น Fe และ Cr ในช่วง Accumulation mode ที่พบเฉพาะวันที่มีกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน แสดงให้เห็นว่าการตัดโลหะด้วยความร้อนทำให้เกิดการกระจายตัวของโลหะหนักในฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นจากวันที่มีการตัดแยกของเก่าประเภทอื่น แต่ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน

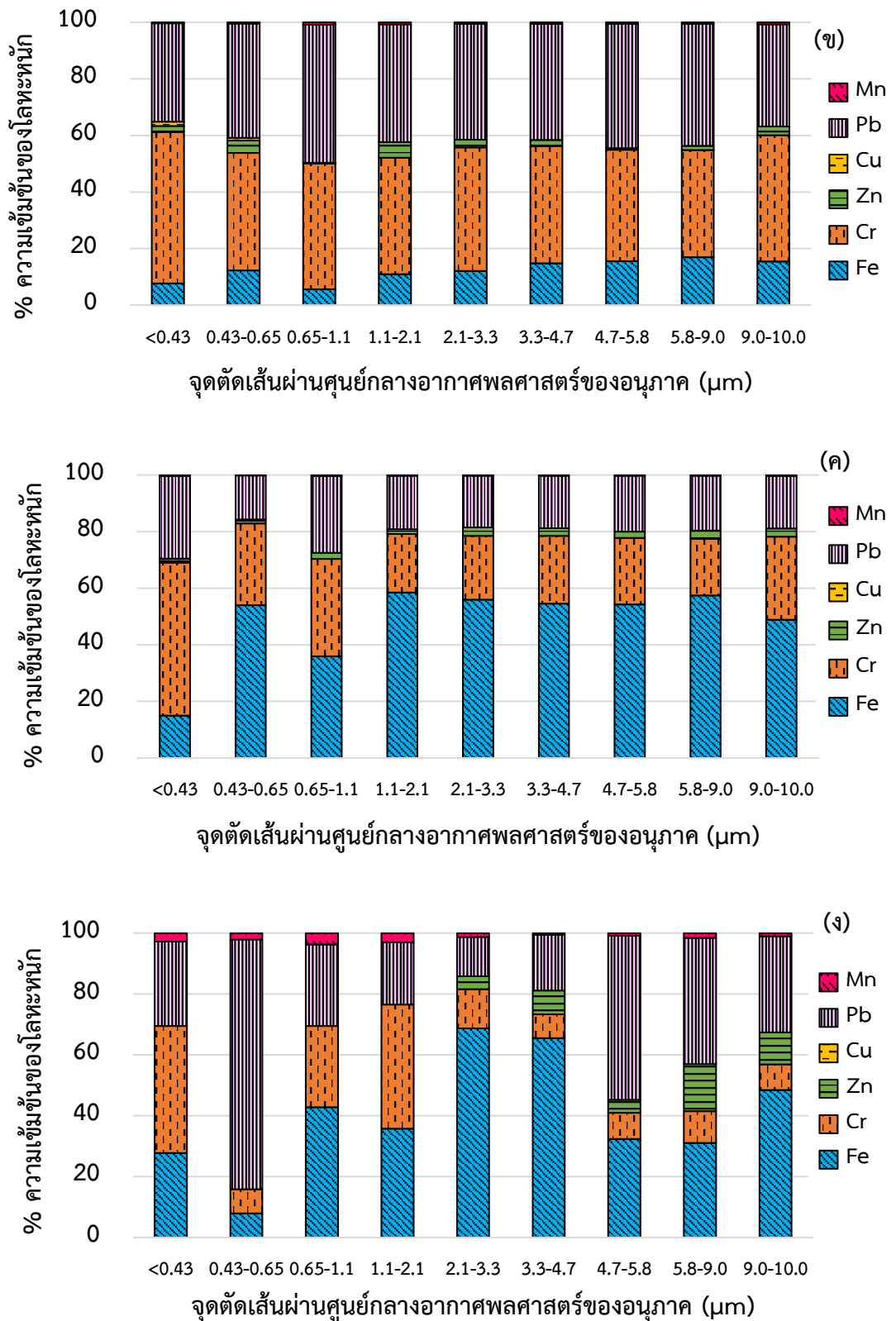
4.2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่ง

การศึกษาความเข้มข้นของของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่งผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.17 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-13 ถึง ค-16 ภาคผนวก ค) สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนอนุภาคฝุ่นละอองแต่ละขนาดที่เกิดจากกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่ง พบว่าวันที่ทำการเผาสายไฟในที่โล่ง ในวันที่ 10 พฤษภาคม 2558 ฝุ่นละอองส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของ Fe มากที่สุด รองลงมา คือ Pb ยกเว้นในฝุ่นละอองขนาด

2.1-3.3, 1.1-2.1, 0.7-1.1 และ 0.43-0.7 ไมโครเมตร ที่ Cr มีความเข้มข้นมากรองลงมาจาก Fe (รูปที่ 4.17 ก) ในวันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1 พบว่าฝุ่นละอองส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของ Cr มากที่สุด รองลงมาคือ Pb และ Fe ตามลำดับ ยกเว้นในฝุ่นละอองขนาด 1.1-2.1 และ 0.7-1.1 ที่ Pb มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ Cr และ Fe ตามลำดับ (รูปที่ 4.17 ข) และในวันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2 พบว่าฝุ่นละอองส่วนใหญ่มีความเข้มข้น Fe มากที่สุด รองลงมาคือ Cr และ Pb ตามลำดับ ยกเว้นบนฝุ่นละอองขนาด <0.43 ไมโครเมตร ที่ Cr มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ Pb และ Fe ตามลำดับ (รูปที่ 4.17 ค) เมื่อเทียบกับวันที่ไม่ทำการเผาสายไฟ ในวันที่ 12 พฤษภาคม 2558 พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าวันที่ไม่ทำการเผาสายไฟอย่างเห็นได้ชัด โดยวันที่ไม่ทำการเผาสายไฟ Fe จะมีความเข้มข้นสูงที่สุดบนฝุ่นละอองขนาด 9.0-10.0, 3.3-4.7, 2.1-3.3 และ 0.7-1.1 ไมโครเมตร ขณะที่ Cr จะมีความเข้มข้นสูงที่สุดบนฝุ่นละอองขนาด 1.1-2.1 และ <0.43 ไมโครเมตร และ Pb มีความเข้มข้นสูงที่สุดบนฝุ่นละอองขนาด 5.8-9.0, 4.7-5.8 และ 0.43-0.7 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.17 ง)



รูปที่ 4.17 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการเผาสายไฟในที่โล่งแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 1 พฤษภาคม 2558 (ก) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1 (ข) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2 (ค) และในวันที่ไม่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง 20 สิงหาคม 2558 (ง)

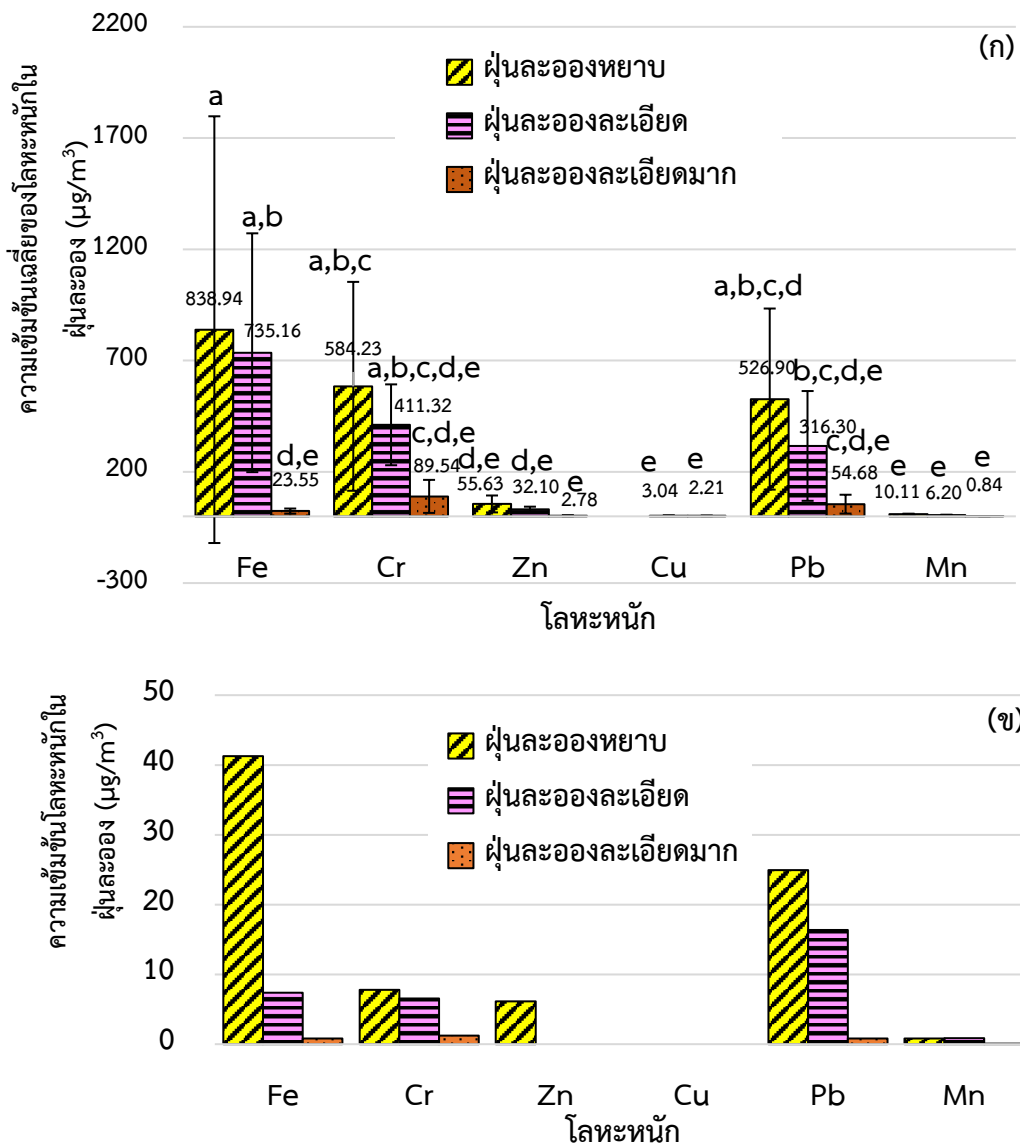


รูปที่ 4.17 สัดส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการเผาสายไฟในที่โล่งแบ่งขนาดตามจุดตัดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคในวันที่ 1 พฤษภาคม 2558 (ก) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1 (ข) 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2 (ค) และในวันที่ไม่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง 20 สิงหาคม 2558 (ง) (ต่อ)

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดบนฝุ่นละอองตามขนาดของอนุภาคจากกิจกรรมการเผาสายไฟในที่โล่ง (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-19 ภาคผนวก ค) พบว่าความเข้มข้นของ Fe ที่จับตัวอยู่บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 838.94 ± 958.91 , 735.16 ± 536.65 และ 23.55 ± 11.46 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Fe บนฝุ่นละอองหยาบและฝุ่นละอองละเอียดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) ขณะที่ความเข้มข้นบนฝุ่นละอองละเอียดมากแตกต่างจากความเข้มข้นบนฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียดอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-7 ภาคผนวก ช) ความเข้มข้นของ Cr บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 584.23 ± 469.36 , 411.32 ± 181.70 และ 89.54 ± 74.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Cr บนอนุภาคฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-7 ภาคผนวก ช) ความเข้มข้นของ Zn บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 55.63 ± 38.04 , 32.10 ± 11.31 และ 2.78 ± 2.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความเข้มข้นของ Zn บนอนุภาคฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-7 ภาคผนวก ช) ความเข้มข้นของ Cu พบเฉพาะในฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 3.04 ± 1.69 และ 2.21 ± 1.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Cr บนฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-7 ภาคผนวก ช) ความเข้มข้นของ Pb บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 526.90 ± 406.93 , 316.30 ± 246.69 และ 54.68 ± 42.35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Pb บนอนุภาคฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-7 ภาคผนวก ช) และความเข้มข้นของ Mn บนฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก มีค่าเท่ากับ 10.11 ± 1.78 , 6.20 ± 1.11 และ 0.84 ± 0.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นของ Mn บนอนุภาคฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) (ดูรายละเอียดในรูปที่ ช-7 ภาคผนวก ช)

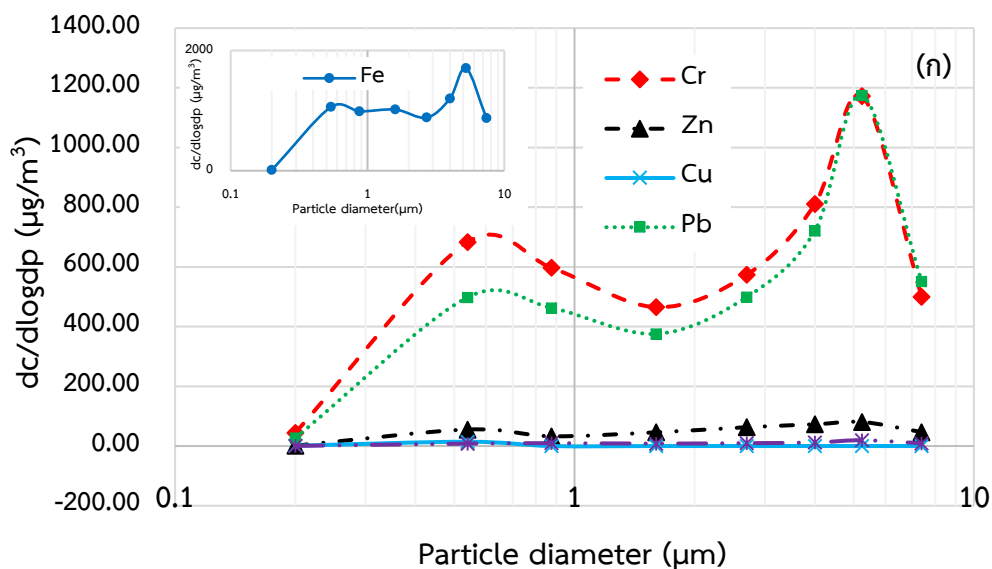
เมื่อวิเคราะห์ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าบนฝุ่นละอองหยาบความเข้มข้นของ Fe มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Zn, Cu และ Mn ($p\text{-value} < 0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Cr และ Pb ($p\text{-value} > 0.05$) ขณะที่ Pb พบว่ามีความเข้มข้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ Cu และ Mn ($p\text{-value} < 0.05$) ส่วน Zn มีความเข้มข้นไม่แตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญกับ Cr และ Cu (p -value >0.05) ในขณะที่ฝุ่นละอองละเอียด พบว่าความเข้มข้นของ Fe มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับ Zn, Cu และ Mn (p -value <0.05) แต่ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดอื่นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p -value >0.05) ส่วนฝุ่นละอองละเอียดมาก พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p -value >0.05) (ดูรายละเอียดในรูปที่ 4-7 ภาคผนวก ข) ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ก) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักกับวันที่ไม่มีการเผาสายไฟ พบว่าวันที่ไม่มีการเผาสายไฟมีความเข้มข้นโลหะหนักน้อยกว่าวันที่มีการเผาสายไฟอย่างเห็นได้ชัด

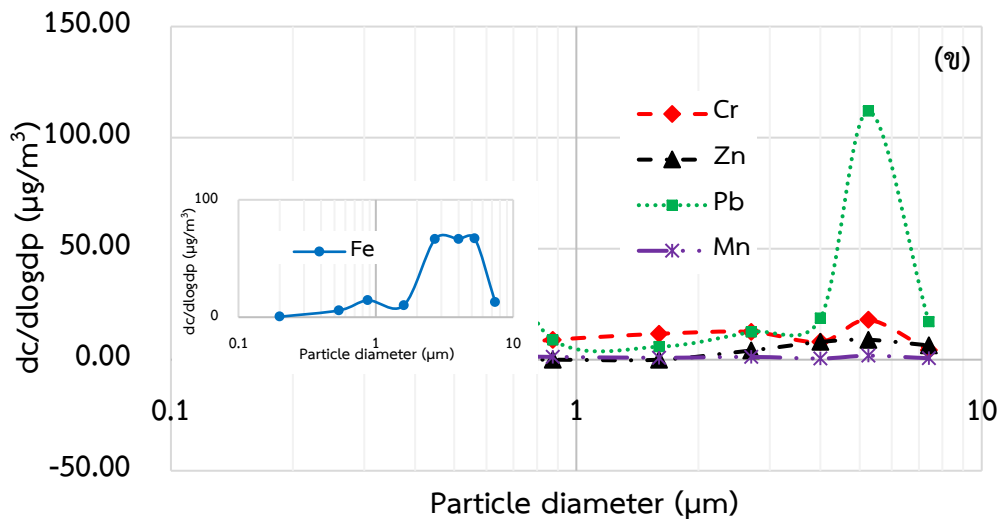


รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นของโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมการเผาสายไฟในที่โล่งแบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาคในวันที่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง (ก) และวันที่ไม่มีการเผาสายไฟ (ข)

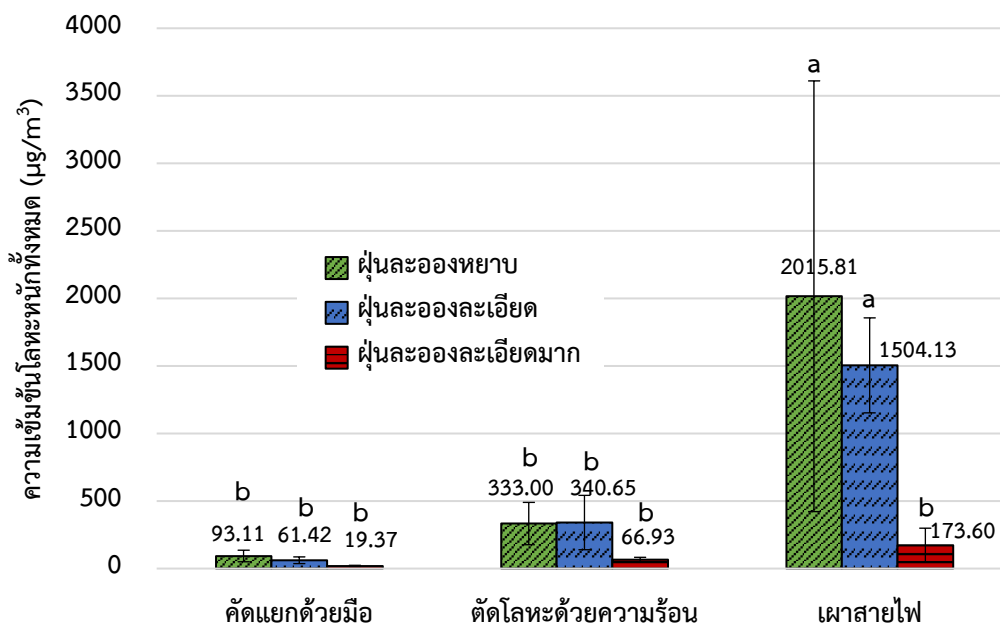
การศึกษาารูปแบบการกระจายของโลหะหนักในฝุ่นละอองจากการเผาสายไฟในที่โล่ง แสดงดังรูปที่ 4.19 พบว่า Fe, Cr, Zn, Pb และ Mn มีการกระจายตัวแบบ Bimodal โดยมีการกระจายตัวสูงสุดอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ (4.7-5.8 ไมโครเมตร) และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode (0.43-0.65 ไมโครเมตร) ในขณะที่ Cu พบการกระจายตัวแบบ Unimodal ในช่วง Accumulation mode (0.43-0.65 ไมโครเมตร) เท่านั้น ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักในฝุ่นละอองในวันที่มีการเผาสายไฟแตกต่างจากวันที่ไม่มีการเผาสายไฟ โดยพบว่าวันที่ไม่มีการเผาสายไฟ Fe, Cr และ Pb มีการกระจายตัวแบบ Bimodal ที่มีการกระจายตัวสูงสุดอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ Zn พบการกระจายตัวแบบ Unimodal ในฝุ่นละอองหยาบ นอกจากนี้ยังพบว่า Mn มีการกระจายตัวแบบ Trimodal ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และ Accumulation mode จากการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาสายไฟในที่โล่ง พบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดย Fe, Cr และ Pb มีความเข้มข้นมากกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักทุกชนิดในวันที่ทำการเผาสายไฟในที่โล่ง มีความแตกต่างจากวันที่ไม่ทำการเผาสายไฟอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักที่จับตัวบนฝุ่นละอองมีผลมาจากกระบวนการเผาสายไฟ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gullett *et al.* (2007) ที่พบการกระจายตัวของ Fe, Cr, Zn, Cu, Pb และ Mn จากการทดลองเผาสายไฟในที่โล่ง



รูปที่ 4.19 รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง (ก) และในวันที่ไม่มีการเผาสายไฟ (ข)



รูปที่ 4.19 รูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองในวันที่มีการเผาสายไฟในที่โล่ง (ก) และในวันที่ไม่มีการเผาสายไฟ (ข) (ต่อ)



รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดบนฝุ่นละอองจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 กิจกรรม แบ่งขนาดตามความละเอียดของอนุภาค

จากผลการศึกษาความเข้มข้นรวมของโลหะหนัก (Total heavy metals) บนฝุ่นละอองที่เกิดจาก 3 กิจกรรม ได้แก่ การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ การตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง ด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความเข้มข้นรวมของโลหะหนักในกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือบนอนุภาคฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) มีลักษณะเช่นเดียวกับการตัดโลหะด้วยความร้อน แต่ต่างจากการ

เผาสายไฟในที่โล่ง ซึ่งมีความเข้มข้นรวมของโลหะหนักบนฝุ่นละอองหยาบและฝุ่นละอองละเอียดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) กับฝุ่นละอองละเอียดมาก และเมื่อวิเคราะห์ตามขนาดของฝุ่นละอองด้วย LSD-ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความเข้มข้นรวมของโลหะหนักบนฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียดที่เกิดการเผาสายไฟมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) กับกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ และกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากิจกรรมการเผาสายไฟในที่โล่งเป็นกิจกรรมที่ส่งผลให้เกิดการจับตัวของโลหะหนักบนฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียดมากกว่าการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ และการตัดโลหะด้วยความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ดูรายละเอียดในรูปที่ ข-8 ภาคผนวก ข)

4.3 การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ จากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

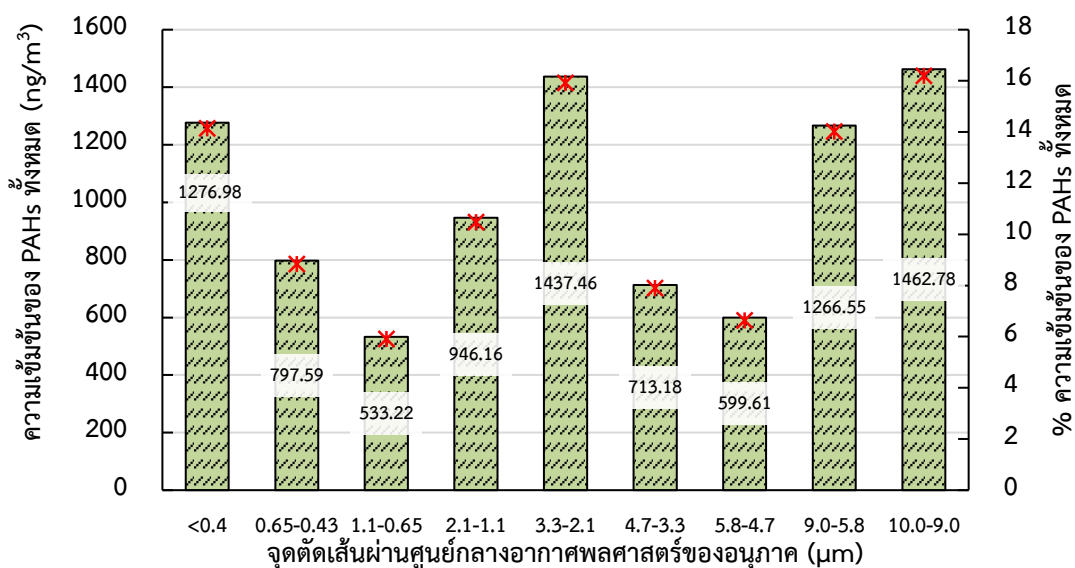
การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายของสารประกอบ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาสารประกอบ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดโลหะด้วยความร้อนและการเผาสายไฟเท่านั้น เนื่องจาก PAHs เป็นสารกึ่งระเหย (semi-volatile) ที่เกิดขึ้นจากการใช้ความร้อนและการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Das *et al.*, 2014) โดยศึกษาสารประกอบ PAHs ในตัวอย่างฝุ่นละอองโดยสกัดตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรองด้วยสารละลาย Acetonitrile โดยใช้วิธี Compendium Method TO-13A (U.S. EPA, 1999b) วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารประกอบ PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS/SIM Mode (กราฟมาตรฐานและค่าร้อยละการคืนกลับของ PAHs แสดงในภาคผนวก ฉ) สารประกอบ PAHs ที่ทำการศึกษา 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene (Nap), Acenaphthylene (Acy), Acenaphthene (Ace), Fluorene (Flu), Phenanthrene (Phe), Anthracene (Ant), Fluoranthene (Fla), Pyrene (Pyr), Benzo[a]anthracene (BaA), Chrysene (Chr), Benzo[b]fluoranthene (BbF), Benzo[k]fluoranthene (BkF), Benzo[a]pyrene (BaP), Dibenzo[a,h]anthracene (DbA), Indeno[1,2,3-*cd*]pyrene (InP) และ Benzo[ghi]perylene (BgP) ได้ผลการศึกษา ดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน

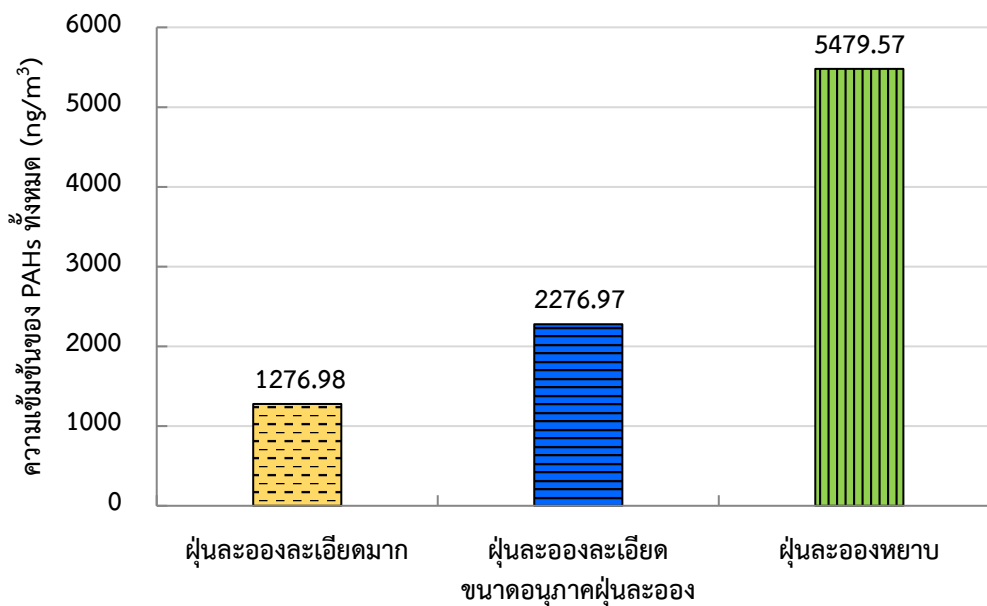
การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของ PAHs 16 ชนิด บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อนพบว่า ฝุ่นละอองขนาด 10.0-9.0 ไมโครเมตร มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ทั้งหมด (Total PAHs) สูงที่สุด คือ 1,462.78 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น

16.19% ของฝุ่นละอองทั้งหมด (Total-mass) รองลงมาคือฝุ่นละอองขนาด 3.3-2.1 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น 1,437.46 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (15.91% ของฝุ่นละอองทั้งหมด) <0.43 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น 1,276.98 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (14.14% ของฝุ่นละอองทั้งหมด) และ 9.0-5.8 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น 1,266.55 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (14.02% ของฝุ่นละอองทั้งหมด) ฝุ่นละอองขนาด 1.1-0.65 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น Total-PAHs น้อยที่สุด คือ 533.22 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 5.90 % ของฝุ่นละอองทั้งหมด ตามลำดับ โดยความเข้มข้น Total-PAHs ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าเท่ากับ 9,033.53 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง-1 ภาคผนวก ง)

ความเข้มข้นทั้งหมดของสาร PAHs 16 ชนิด บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก ระหว่างกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.22 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง-3 ภาคผนวก ง) พบว่ามีความเข้มข้น Total-PAHs สูงที่สุดในฝุ่นละอองหยาบ (5,479.57 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) คิดเป็น 60.66% ของ Total-PAHs รองลงมาคือ ฝุ่นละอองละเอียดมีความเข้มข้นเท่ากับ 2,276.97 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 25.21% ของ Total-PAHs และฝุ่นละอองละเอียดมากมีความเข้มข้นเท่ากับ 1,276.98 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 14.14% ของ Total-PAHs ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองหยาบและฝุ่นละอองละเอียดที่เกิดจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Deng *et al.* (2006) ที่พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ทั้งหมดในฝุ่นละอองรวม (TSP) มีค่ามากกว่าในฝุ่น PM_{2.5} จากบริเวณพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศจีน



รูปที่ 4.21 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ทั้งหมดบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน



รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของ 16 PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากจากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน

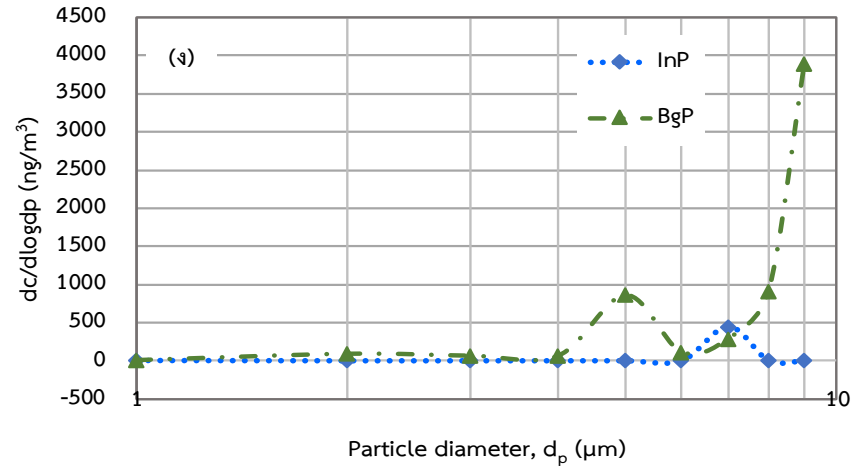
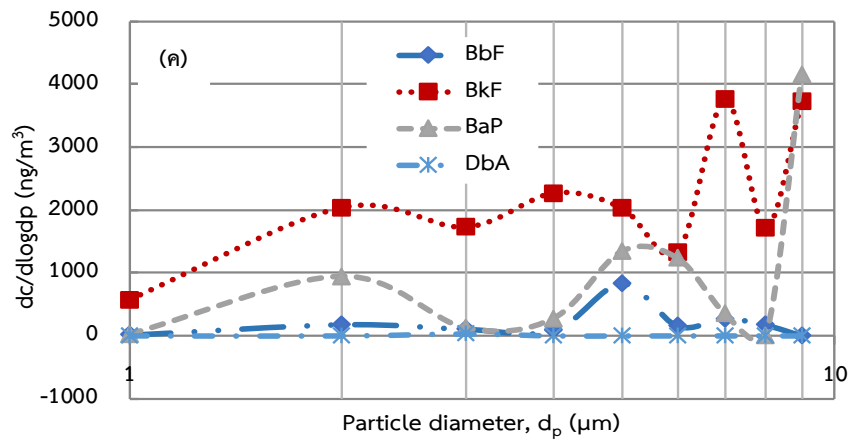
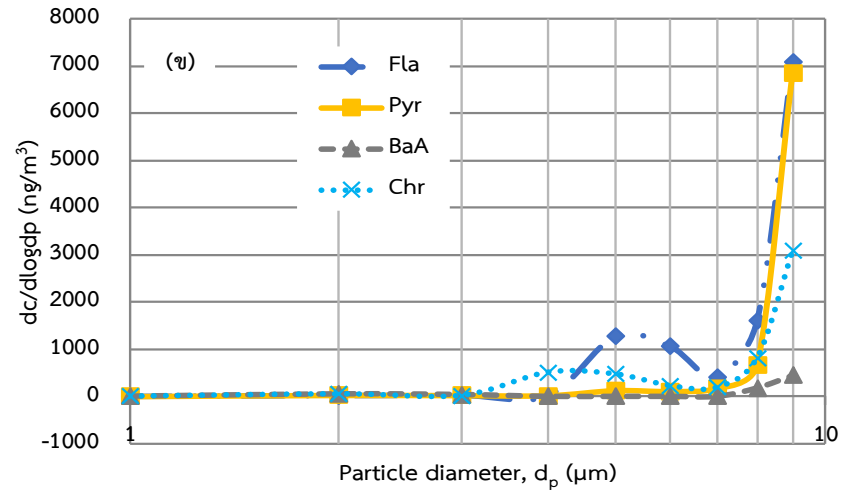
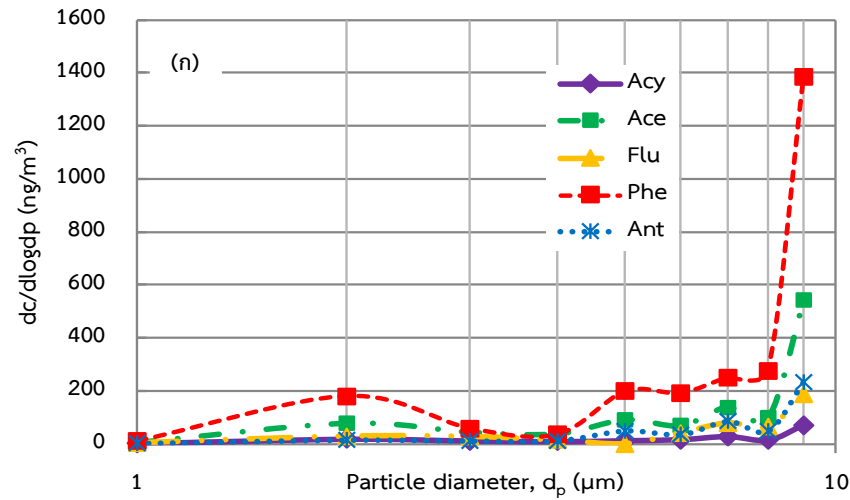
การศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs ทั้ง 16 ชนิด บนอนุภาคฝุ่นละอองจะแบ่งกลุ่มของสารประกอบ PAHs ออกเป็น 4 กลุ่ม ตามจำนวนวงอะโรมาติกในโครงสร้าง คือ 1) PAHs 3 วงอะโรมาติก ได้แก่ Acy, Ace, Flu, Phe และ Ant 2) PAHs 4 วงอะโรมาติก ได้แก่ Fla, Pyr, BaA และ Chr 3) PAHs 5 วงอะโรมาติก ได้แก่ BbF, BkF, BaP และ DbA 4) PAHs 6 วงอะโรมาติก ได้แก่ InP และ BgP ผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.23

สารประกอบ PAHs 3 วงอะโรมาติก พบว่า Ace, Phe และ Ant มีการกระจายตัวแบบ Multimodal distribution โดยมีพีคหลักอยู่ในช่วงของฝุ่นละอองหยาบ (Coarse mode) และพีครองอยู่ในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ Acy และ Flu มีการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution โดยพบว่าการกระจายตัวของพีคหลัก 2 พีคในช่วงของฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวของพีครองอยู่ในช่วง Accumulation mode ดังแสดงในรูปที่ 4.23 (ก) การกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 4 วงอะโรมาติก แสดงในรูปที่ 4.23 (ข) พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดย Fla มีการกระจายตัว 2 พีค ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ ในขณะที่ Pyr, BaA และ Chr มีการกระจายตัวสูงสุดในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode รูปที่ 4.23 (ค) แสดงการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 5 วงอะโรมาติก พบว่า BkF มีการกระจายตัวแบบ Multimodal distribution ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และ Accumulation mode BaP และ BbF มีการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution โดยพบการกระจายตัวสูงสุดในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ DbA พบการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution ในช่วง Accumulation mode

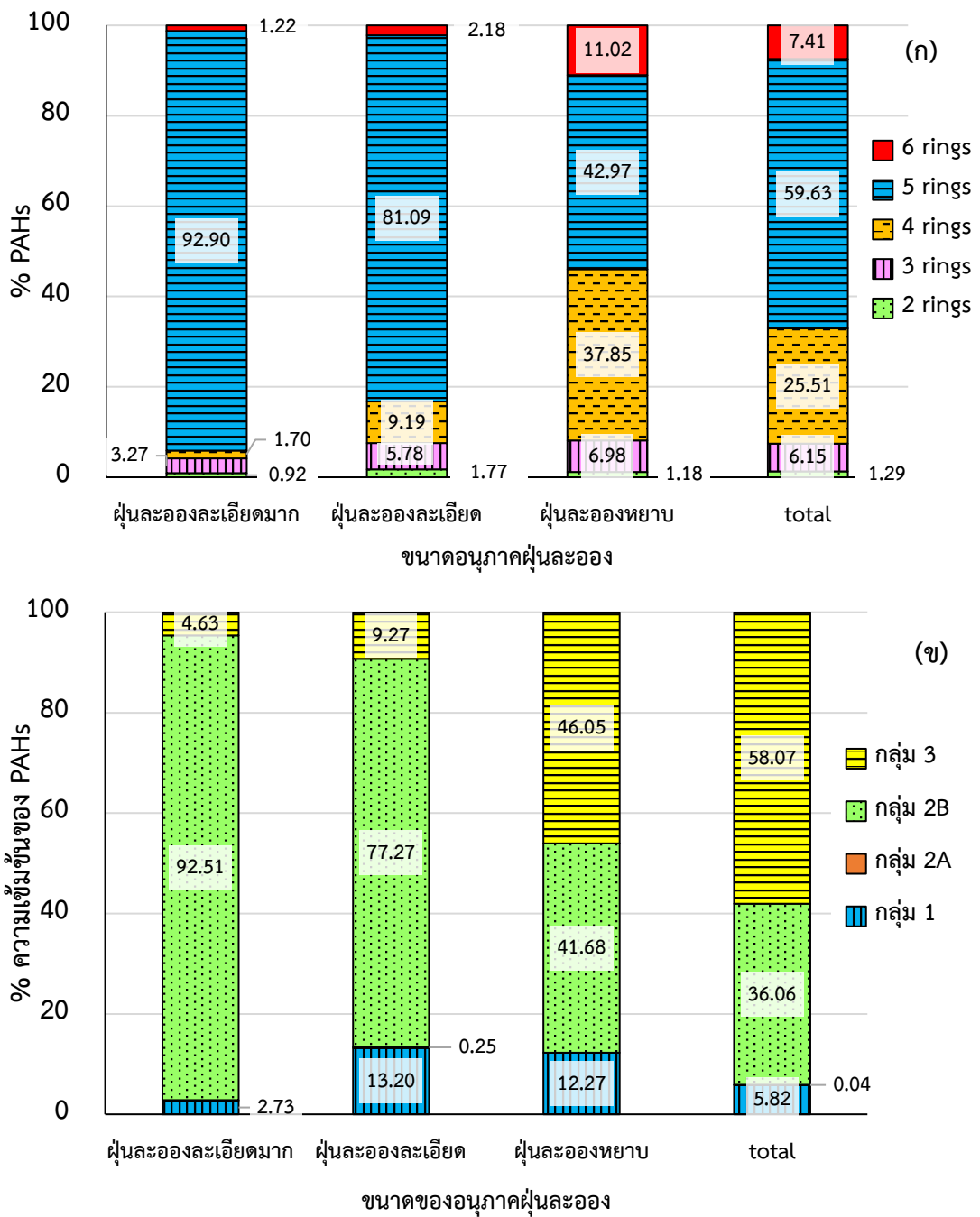
เท่านั้น นอกจากนี้ ยังพบการกระจายตัวของ InP ซึ่งเป็นสารประกอบ PAHs 6 วงอะโรมาติก (รูปที่ 4.23 (ง)) มีการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution เช่นกัน โดยมีการกระจายตัวในช่วงฝุ่นละอองหยาบ ในขณะที่ BgP มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีการกระจายตัว 2 พีค ในช่วงของฝุ่นละอองหยาบ

จากรูปที่ 4.24 (ก) แสดงสัดส่วนของสารประกอบ PHAs 2-6 วงอะโรมาติกในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ พบว่า ในฝุ่นละอองละเอียดมากมีสัดส่วนของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติกสูงสุดคือ 92.90% รองลงมาคือสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก (3.27%) 4 วงอะโรมาติก (1.70%) และ 6 วงอะโรมาติก (1.22%) ตามลำดับ และพบว่าสาร PAHs 2 วงอะโรมาติกมีสัดส่วนน้อยที่สุดคือ 0.92% เช่นเดียวกับสัดส่วนสาร PAHs 5 วงอะโรมาติกในฝุ่นละอองละเอียดที่พบว่ามีค่าสูงสุดคือ 81.09% รองลงมาคือสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก (9.19%) 3 วงอะโรมาติก (5.78%) และ 6 วงอะโรมาติก (2.18%) ตามลำดับ และพบว่าสาร PAHs 2 วงอะโรมาติกมีสัดส่วนน้อยที่สุดในขณะที่ฝุ่นละอองหยาบสัดส่วนสาร PAHs สูงสุดคือ 5 วงอะโรมาติก ซึ่งมีสัดส่วนใกล้เคียงกับสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก รองลงมาคือสาร PAHs 6 วงอะโรมาติก 3 วงอะโรมาติก และ 2 วงอะโรมาติก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนสาร PAHs ในฝุ่นละอองทั้งหมด (PM₁₀) พบว่า PAHs 5 วงอะโรมาติก มีสัดส่วนสูงสุดคือ 59.63% รองลงมาคือสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก 6 วงอะโรมาติก และ 3 วงอะโรมาติก ตามลำดับ

เมื่อแบ่งกลุ่มสารประกอบ PAHs 16 ชนิด ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง (IARC, 2019) ซึ่งแบ่งสาร PAHs ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ได้แก่ BaP กลุ่ม 2A อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ได้แก่ DbA กลุ่ม 2B มีโอกาสก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ได้แก่ Nap, BaA, BbF, BkF, InP, และ Chr และกลุ่ม 3 ไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ได้แก่ Acy, Ace, Flu, Phe, Ant, Fla, Pyr และ BgP รูปที่ 4.24 (ข) แสดงสัดส่วนสาร PAHs จากการตัดโลหะด้วยความร้อนตามความสามารถในการก่อมะเร็ง พบว่าในฝุ่นละอองละเอียดมากมีสัดส่วนสาร PAHs ในกลุ่ม 2B สูงที่สุดคือ 92.51% รองลงมาคือสาร PAHs กลุ่ม 3 และกลุ่ม 1 มีค่าเท่ากับ 4.63% และ 2.73% ตามลำดับ แต่ไม่พบความเข้มข้นของสาร PAHs ในกลุ่ม 2A ในขณะที่ฝุ่นละอองละเอียดพบสัดส่วนสาร PAHs กลุ่ม 2B สูงที่สุดคือ 77.27% รองลงมาคือสาร PAHs กลุ่ม 1 และ กลุ่ม 3 มีค่าเท่ากับ 13.20% และ 9.27% ตามลำดับ และพบสัดส่วนความเข้มข้นของสาร PAHs กลุ่ม 2A น้อยที่สุด คือ 0.25% ฝุ่นละอองหยาบพบสัดส่วนสาร PAHs กลุ่ม 3 สูงที่สุด คือ 46.05% รองลงมาคือสาร PAHs กลุ่ม 2B และ กลุ่ม 1 มีค่าเท่ากับ 41.68% และ 12.27% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนสาร PAHs ในฝุ่นละอองทั้งหมด (PM₁₀) พบว่ากลุ่ม 3 มีสัดส่วนมากที่สุดเท่ากับ 58.07% รองลงมาคือกลุ่ม 2B กลุ่ม 1 และกลุ่ม 2A มีค่าเท่ากับ 36.06% 5.82% และ 0.04% ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก (ก) 4 วงอะโรมาติก (ข) 5 วงอะโรมาติก (ค) และ 6 วงอะโรมาติก (ง) บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการตัดโลหะด้วยความร้อน

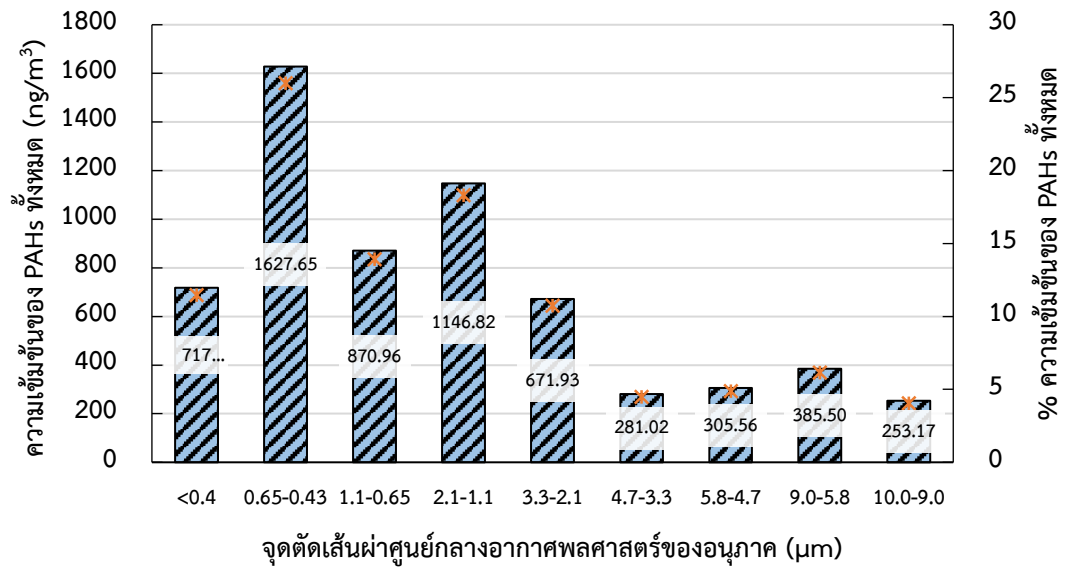


รูปที่ 4.24 สัดส่วนสาร PAHs 2-6 วงอะโรมาติก (ก) และสัดส่วนสาร PAHs แบ่งตามความสามารถในการก่อมะเร็ง (ข) ในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากการตัดชิ้นส่วนโลหะของขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน

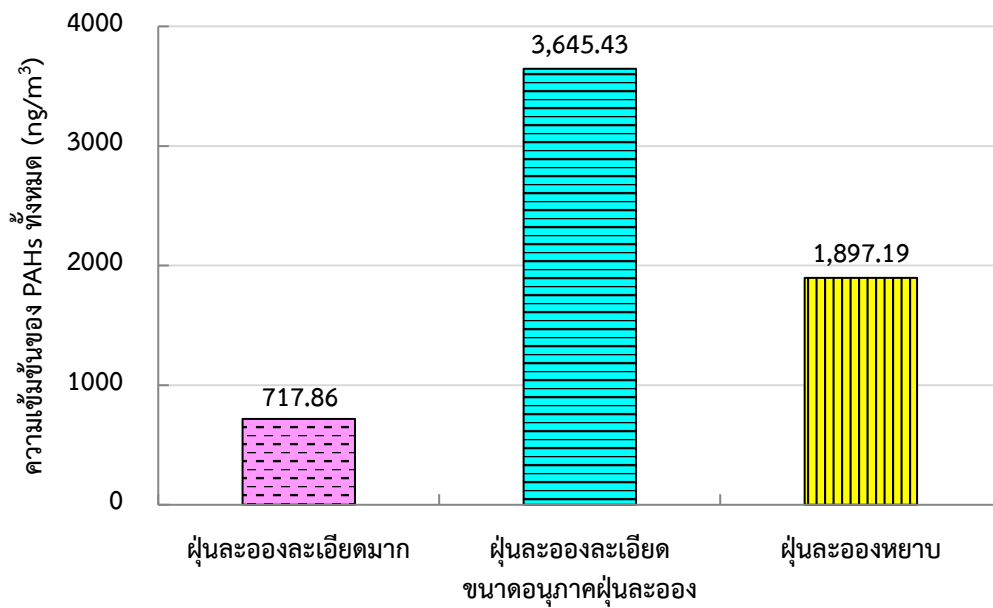
4.3.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่ง

การศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 16 ชนิด บนอนุภาคฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่งพบว่า ฝุ่นละอองขนาด 0.65-0.43 ไมโครเมตร มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ PAHs ทั้งหมด (Total PAHs) สูงที่สุด คือ 1,627.65 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 26% ของฝุ่นละอองทั้งหมด (Total-mass) รองลงมาคือฝุ่นละอองขนาด 2.1-1.1 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น 1,146.82 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (18.32% ของฝุ่นละอองทั้งหมด) 1.1-0.65 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น 870.96 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (13.91% ของฝุ่นละอองทั้งหมด) และ <0.43 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น 717.86 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (11.47% ของฝุ่นละอองทั้งหมด) ฝุ่นละอองขนาด 10.0-9.0 ไมโครเมตร มีความเข้มข้น Total-PAHs น้อยที่สุด คือ 253.17 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 4.04 % ของฝุ่นละอองทั้งหมด โดยความเข้มข้น Total-PAHs ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าเท่ากับ 6,260.47 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง-2 ภาคผนวก ง)

ความเข้มข้นทั้งหมดของสาร PAHs 16 ชนิด บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก ระหว่างกระบวนการเผาสายไฟในที่โล่งแสดงดังรูปที่ 4.26 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ง-3 ภาคผนวก ง) พบว่าความเข้มข้น Total-PAHs สูงที่สุดในฝุ่นละอองละเอียด (3,645.43 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) คิดเป็น 58.23% ของ Total-PAHs รองลงมาคือ ฝุ่นละอองหยาบมีความเข้มข้นเท่ากับ 1,897.19 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 30.30% ของ Total-PAHs และฝุ่นละอองละเอียดมากมีความเข้มข้นเท่ากับ 717.86 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 11.47% ของ Total-PAHs ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสารประกอบ PAHs ส่วนใหญ่จะถูกดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองในช่วงฝุ่นละอองละเอียด (Accumulation mode) ซึ่งเกิดจากการควบแน่น (Condensation) และการรวมตัวกัน (Coagulation) ของสารประกอบ PAHs ในสถานะก๊าซ (vapor phase) สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่พบว่าสาร PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะถูกดูดซับบนอนุภาคฝุ่นละอองละเอียด (Wu et al. (2014), Menichini et al. (1999) และ Ramirez et al. (2011))



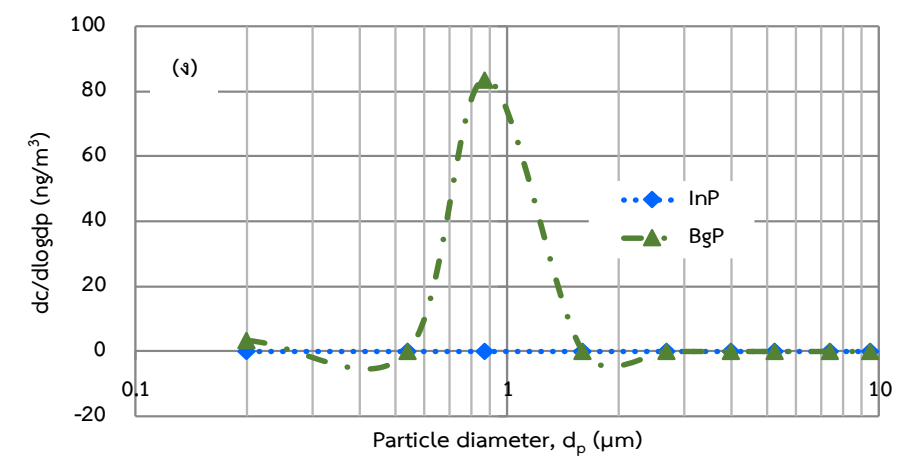
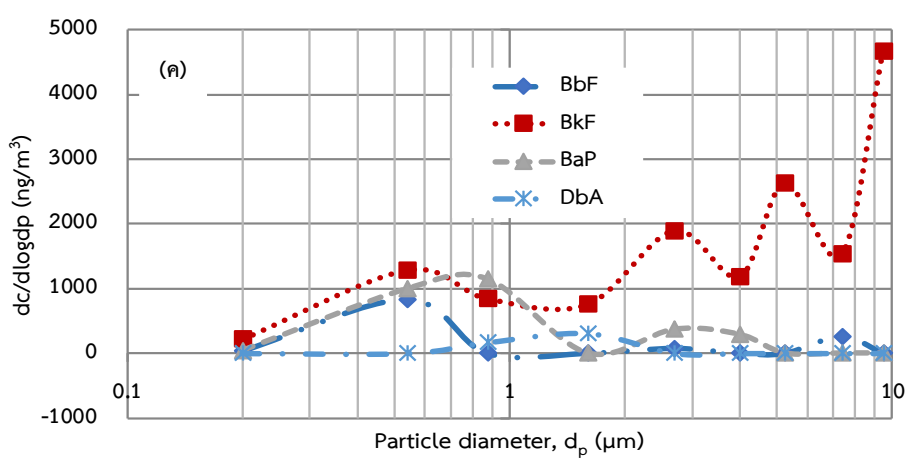
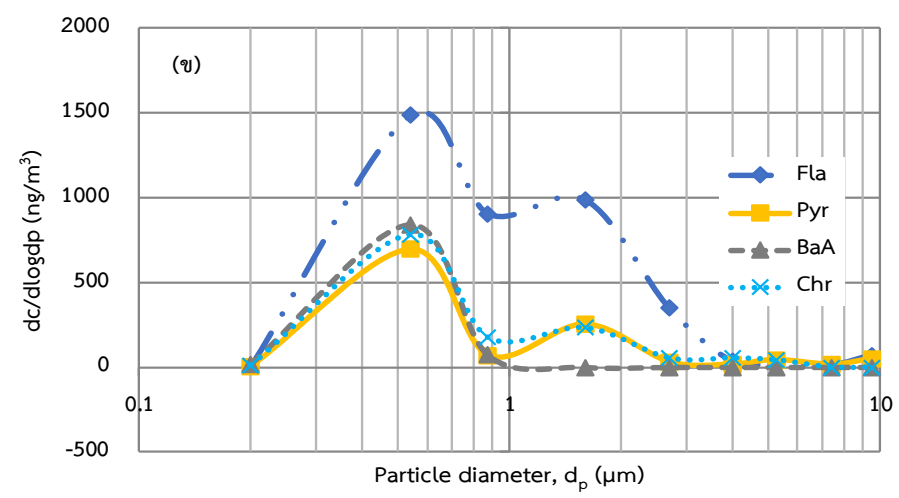
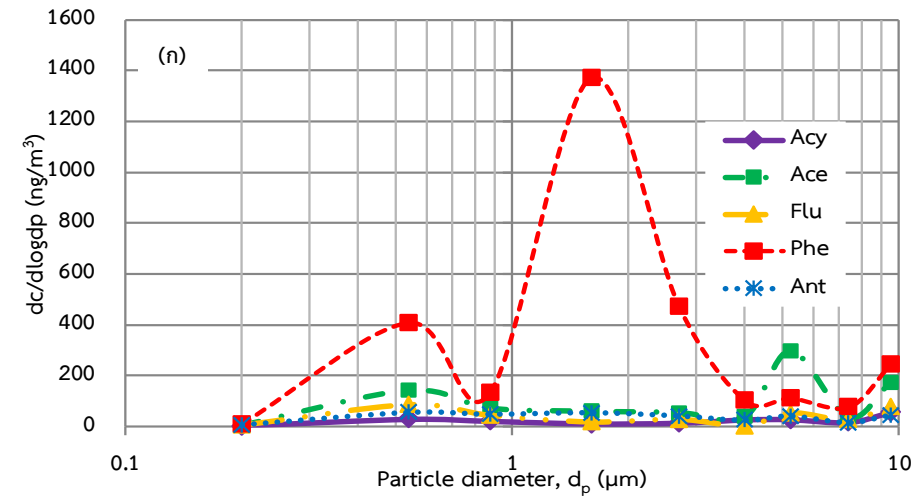
รูปที่ 4.25 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบ PAHs ทั้งหมดบนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการเผาสายไฟ



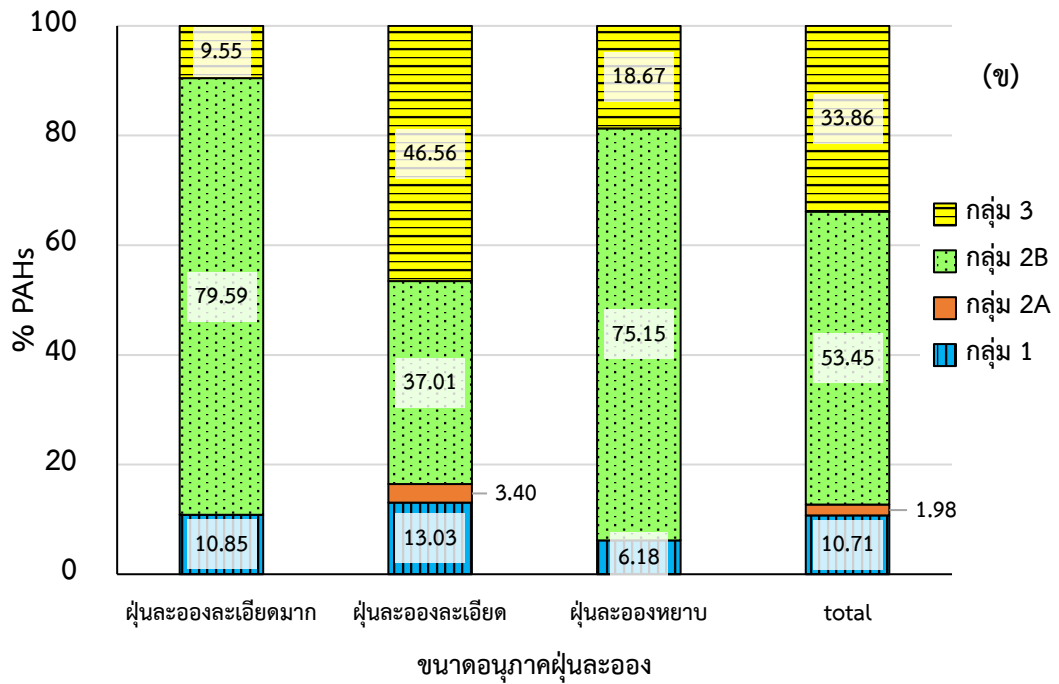
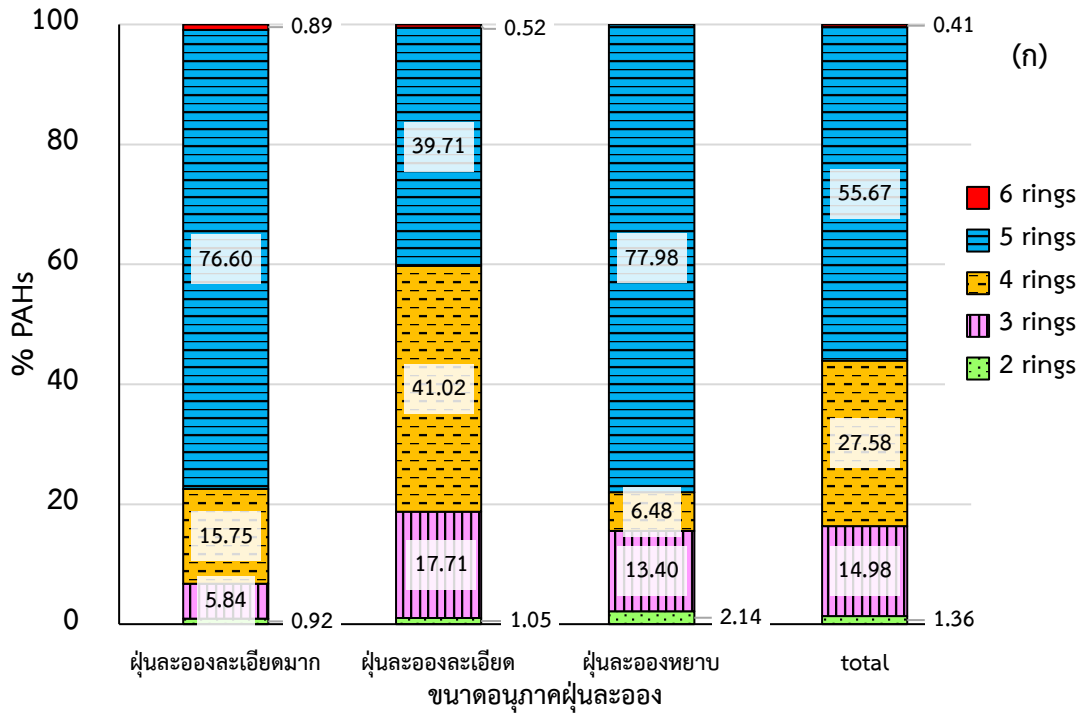
รูปที่ 4.26 ความเข้มข้นของ 16 PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมาก จากกระบวนการเผาสายไฟ

การศึกษารูปแบบการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs บนอนุภาคฝุ่นละอองจากการเผาสายไฟ แสดงดังรูปที่ 4.27 ผลการศึกษาพบว่า สารประกอบ PAHs 3 วงอะโรมาติก (รูปที่ 4.27 (ก)) มีการกระจายตัวของ Acy และ Ace แบบ Bimodal โดยพบว่าการกระจายตัวสูงสุดอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ Flu, Phe และ Ant มีการกระจาย

ตัวแบบ Multimodal distribution โดยมีการกระจายตัวสูงสุด 2 พีค ในช่วง Accumulation mode และการกระจายตัวรองลงมา 2 พีค ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ การกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 4 วงอะโรมาติก แสดงดังรูปที่ 4.27 (ข) พบว่า BaA มีการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution โดยมีการกระจายตัวสูงสุดในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ Fla มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution โดยมีการกระจายตัวสูงสุด 2 พีค ในช่วง Accumulation mode Pyr และ Chr มีการกระจายตัวแบบ Multimodal distribution โดยมีการกระจายตัวสูงสุด 2 พีค ในช่วง Accumulation mode และการกระจายตัวรองลงมา 2 พีค ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ รูปที่ 4.27 (ค) แสดงการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs 5 วงอะโรมาติก พบว่า BaP มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution การกระจายตัวสูงสุดอยู่ในช่วงฝุ่นละอองหยาบ และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ BbF และ BkF มีการกระจายตัวแบบ Multimodal distribution ทั้งในช่วงของฝุ่นละอองหยาบ และในช่วง Accumulation mode นอกจากนี้ยังพบว่า DbA มีการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution โดยมีการกระจายตัวสูงสุดในช่วง Accumulation mode เช่นเดียวกับสารประกอบ PAHs 6 วงอะโรมาติก ที่พบว่า BgP มีการกระจายตัวแบบ Unimodal distribution ในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ InP ไม่พบการกระจายตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ง) จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของสารประกอบ PAHs ที่มี 5-6 วงอะโรมาติก จะมีการกระจายตัวในช่วงของฝุ่นละอองละเอียด ในขณะที่สารประกอบ PAHs 3-4 วงอะโรมาติก จะมีการกระจายตัวในช่วงฝุ่นละอองหยาบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Keshtkar และ Ashbaugh (2007) ที่พบว่า สาร PAHs ที่ระเหยได้น้อย จะควบแน่นรวมตัวกับอนุภาคฝุ่นละเอียดในช่วงแรกของการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง ในขณะที่สาร PAHs ที่ระเหยได้ง่ายจะรวมตัวกับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดใหญ่เมื่ออุณหภูมิลดลง



รูปที่ 4.27 รูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs 3 วงอะโรมาติก (ก) 4 วงอะโรมาติก (ข) 5 วงอะโรมาติก (ค) และ 6 วงอะโรมาติก (ง) บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จากกระบวนการเผาสายไฟ



รูปที่ 4.28 สัดส่วนสาร PAHs 2-6 วงอะโรมาติก (ก) และสัดส่วนสาร PAHs แบ่งตามความสามารถในการก่อมะเร็ง (ข) ในผุ่นละองขนาดต่างๆ จากการเผาสายไฟในที่โล่ง

จากรูปที่ 4.28 (ก) แสดงสัดส่วนสาร PAHs 2-6 วงอะโรมาติก บนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่เกิดจากการเผาสายไฟในที่โล่ง พบว่าในฝุ่นละอองละเอียดมากมีสัดส่วน PAHs 5 วงอะโรมาติกสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 76.60% รองลงมาคือ 4 วงอะโรมาติก (15.75%) 3 วงอะโรมาติก (5.84%) 2 วงอะโรมาติก (0.92%) และ 6 วงอะโรมาติก (0.89%) ตามลำดับ ในขณะที่ฝุ่นละอองละเอียดพบสัดส่วนสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก สูงที่สุดเท่ากับ 41.02% รองลงมาคือ 5 วงอะโรมาติก (39.71%) 3 วงอะโรมาติก (17.71%) 2 วงอะโรมาติก (1.05%) และ 6 วงอะโรมาติก (0.52%) ตามลำดับ ฝุ่นละอองหยาบพบว่า PAHs 5 วงอะโรมาติกมีสัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 77.98% รองลงมาคือ 3 วงอะโรมาติก (13.40%) 4 วงอะโรมาติก (6.48%) และ 2 วงอะโรมาติก (2.14%) ตามลำดับ แต่ไม่พบความเข้มข้นของ PAHs 6 วงอะโรมาติก เมื่อพิจารณาสัดส่วนสาร PAHs ในฝุ่นละอองทั้งหมด (PM₁₀) พบว่ามีสัดส่วนสาร PAHs 5 วงอะโรมาติกสูงที่สุด (55.67%) รองลงมาคือ 4 วงอะโรมาติก (27.58%) 3 วงอะโรมาติก (14.98%) 2 วงอะโรมาติก (1.36%) และ 6 วงอะโรมาติก (0.41%) ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาร PAHs ที่ระเหยได้น้อย (low volatile) จะอยู่บนอนุภาคฝุ่นละอองได้ง่ายกว่าสาร PAHs ที่ระเหยได้มาก (high volatile) สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า PAHs ที่มีวงอะโรมาติกในโครงสร้างมากกว่า 4 วงจะถูกดูดซับอยู่บนฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ (Harrison *et al.*, 1996; Cincinelli *et al.*, 2007; Spezzano *et al.*, 2009)

รูปที่ 4.28 (ข) แสดงสัดส่วนสาร PAHs ที่เกิดขึ้นจากการเผาสายไฟในที่โล่งตามความสามารถในการก่อมะเร็ง พบว่าในฝุ่นละอองละเอียดมากมีสัดส่วนสาร PAHs ในกลุ่ม 2B สูงที่สุด คือ 79.59% รองลงมาคือสาร PAHs กลุ่ม 1 และกลุ่ม 3 มีค่าเท่ากับ 10.85% และ 9.56% ตามลำดับ แต่ไม่พบความเข้มข้นของสาร PAHs ในกลุ่ม 2A ในขณะที่ฝุ่นละอองละเอียดพบสัดส่วนสาร PAHs กลุ่ม 3 สูงที่สุดคือ 46.56% รองลงมาคือสาร PAHs กลุ่ม 2B กลุ่ม 1 และกลุ่ม 2A มีค่าเท่ากับ 37.01%, 13.03% และ 3.40% ตามลำดับ ฝุ่นละอองหยาบพบสัดส่วนสาร PAHs คล้ายกับฝุ่นละอองละเอียดมาก โดยพบว่า PAHs กลุ่ม 2B มีสัดส่วนสูงที่สุดเท่ากับ 75.15% รองลงมาคือสาร PAHs กลุ่ม 3 และกลุ่ม 1 มีค่าเท่ากับ 18.67% และ 6.18 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนสาร PAHs ในฝุ่นละอองทั้งหมด (PM₁₀) พบว่ากลุ่ม 2B มีสัดส่วนมากที่สุดเท่ากับ 53.45% รองลงมาคือกลุ่ม 3, กลุ่ม 1 และกลุ่ม 2A มีค่าเท่ากับ 33.86%, 10.71% และ 1.98 % ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาร PAHs บางชนิดที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการเผาสายไฟในที่โล่งอาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

4.4 การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักและ PAHs ที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

4.4.1 การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

งานวิจัยนี้ประเมินความเสี่ยงของคณงานที่สัมผัสโลหะหนักบนฝุ่นละอองที่เกิดจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ผ่านทางการหายใจทั้ง 3 กิจกรรม คือ การตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ การตัดชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง คำนวณในรูปของ Average daily dose (ADD_{inh}) และนำมาคำนวณค่าความเสี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังที่ไม่ใช่มะเร็งในรูปของ Hazard quotient (HQ) จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เกาะกับฝุ่นละอองผ่านทางการหายใจ โดยใช้วิธีของ U.S. EPA (2016) เมื่อ $HQ < 1$ หมายถึง ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ, $HQ \geq 1$ หมายถึง มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง, $HQ > 10$ หมายถึง มีความเสี่ยงสูงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

ผลการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์แสดงในตารางที่ 4.3 ถึง ตารางที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ) พบว่า กิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัส Cr ที่จับบนอนุภาคฝุ่นละอองละเอียดมาก ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองหยาบผ่านทางการหายใจ โดยมีระยะเวลาการปฏิบัติงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีช่วงเวลารับสัมผัส 10 ปี มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง ในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัส Pb ในฝุ่นละอองละเอียดมาก และฝุ่นละอองละเอียด มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง สำหรับผู้ปฏิบัติงานเพศชายที่สัมผัส Pb ในฝุ่นละอองหยาบ พบว่ามีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ส่วนผู้ปฏิบัติงานเพศหญิงที่สัมผัส Pb ในฝุ่นละอองหยาบ พบว่า มีความเสี่ยงสูงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ > 10$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

การศึกษาความเสี่ยงในการรับสัมผัสสารโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่งเพื่อตัดแยกทองแดง พบว่า ผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัส Cr และ Pb ที่จับบนอนุภาค ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองหยาบ ผ่านทางการหายใจ โดยมีระยะเวลาการปฏิบัติงาน 0.5 ชั่วโมงต่อวัน มีความถี่ในการรับสัมผัส 52 วันต่อปี หรือ 1 วันต่อสัปดาห์ โดยมีช่วงเวลารับสัมผัส 10 ปี มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ในขณะที่กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนพบว่าผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองละเอียดมาก ฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองหยาบ ไม่มีความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ($HQ < 1$) ในโลหะหนักทุกชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าความเสี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เกาะกับฝุ่นละอองผ่านทางหายใจ จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ

โลหะหนัก	HQ _{inh}					
	ฝุ่นละอองละเอียดมาก		ฝุ่นละอองละเอียด		ฝุ่นละอองหยาบ	
	ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง
Fe	9.45E-04	1.12E-03	2.99E-03	3.55E-03	4.42E-03	5.25E-03
Cr	1.8243	2.1667	5.5793	6.6263	7.0212	8.3388
Zn	6.14E-05	7.29E-05	2.22E-04	2.64E-04	4.42E-04	5.25E-04
Pb	1.5649	1.8585	5.0843	6.0384	8.5440	10.1473
Cu	-	-	-	-	1.84E-03	2.19E-03
Mn	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.4 ค่าความเสี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เกาะกับฝุ่นละอองผ่านทางหายใจ จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน

โลหะหนัก	HQ _{inh}					
	ฝุ่นละอองละเอียดมาก		ฝุ่นละอองละเอียด		ฝุ่นละอองหยาบ	
	ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง
Fe	4.48E-05	5.32E-05	2.39E-04	2.84E-04	2.26E-04	2.69E-04
Cr	6.30E-02	7.48E-02	1.70E-01	2.02E-01	1.49E-01	1.77E-01
Zn	1.20E-05	1.42E-05	7.75E-05	9.20E-05	9.65E-05	1.15E-04
Pb	1.85E-02	2.20E-02	1.13E-01	1.34E-01	1.10E-01	1.31E-01
Cu	5.97E-06	7.09E-06	3.61E-05	4.29E-05	4.79E-05	5.69E-05
Mn	1.04E-02	1.24E-02	1.06E-02	1.26E-02	1.04E-02	1.24E-02

ตารางที่ 4.5 ค่าความเสี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) จากการได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เกาะกับฝุ่นละอองผ่านทางหายใจ จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง

โลหะหนัก	HQ _{inh}					
	ฝุ่นละอองละเอียดมาก		ฝุ่นละอองละเอียด		ฝุ่นละอองหยาบ	
	ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง
Fe	8.06E-04	9.57E-04	7.06E-04	8.38E-04	8.06E-04	9.57E-04
Cr	6.02E-01	7.15E-01	2.7645	3.2832	3.9266	4.6635
Zn	6.23E-06	7.40E-06	7.19E-05	8.54E-05	1.25E-04	1.48E-04
Pb	2.45E-01	2.91E-01	1.4173	1.6832	2.3609	2.8039
Cu	3.69E-05	4.38E-05	5.08E-05	6.04E-05	-	-
Mn	1.87E-03	2.22E-03	1.39E-02	1.65E-02	2.27E-02	2.69E-02

4.4.2 การประเมินความเสี่ยง PAHs ที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

การประเมินความเสี่ยงในการรับสัมผัสสาร PAHs จากกระบวนการตัดชิ้นส่วนโลหะของขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง จะแสดงอยู่ในรูปแบบของความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิต (lifetime lung cancer risk)

ตารางที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นของ PAHs 16 ชนิด ที่จับบนอนุภาคฝุ่นละออง และค่าความเข้มข้นของ PAHs ที่อยู่ในรูปของสมมูลรวมของ Benzo[a]pyrene ($\Sigma B_{[a]P_{eq}}$) พบว่าการเผาสายไฟในที่โล่ง และการตัดโลหะด้วยความร้อน มีความเข้มข้นของ PAHs ทั้งหมด (total PAHs) เท่ากับ 6,260.47 และ 9,033.53 ng/m³ ตามลำดับ และมีค่า $B_{[a]P_{eq}}$ ทั้งหมด (total $B_{[a]P_{eq}}$) เท่ากับ 1,014.35 และ 1,226,245.45 ng/m³ ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองทั้ง 2 กิจกรรมมีค่า $B_{[a]P_{eq}}$ สูงกว่าค่ามาตรฐานที่สหภาพยุโรปกำหนด เท่ากับ 1 ng/m³ (EU, 2019) นอกจากนี้ยังพบว่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิตของการเผาสายไฟในที่โล่ง น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ในทิศใต้ลม มีค่าเท่ากับ 8.825E-02 คือมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปอด 8.825 ราย ต่อผู้รับสัมผัส 100 คน ในขณะที่การตัดโลหะด้วยความร้อน มีค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิด มะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิตเท่ากับ 1.169E-01 คือมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปอด 1.169 ราย ต่อผู้รับสัมผัส 10 คน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการรับสัมผัส PAHs ที่เกาะบนฝุ่นละอองจากกระบวนการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงในการเกิดโรคมะเร็งปอด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang *et al.* (2012) ที่พบว่าบริเวณที่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปอดสูง

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้น PAHs 16 ชนิด บนอนุภาคฝุ่นละออง และค่า $B_{[a]P_{eq}}$

PAHs	TEF	การเผาสายไฟในทีโลง		การตัดโลหะด้วยความร้อน	
		PAHs (ng/m ³)	$B_{[a]P_{eq}}$ (ng/m ³)	PAHs (ng/m ³)	$B_{[a]P_{eq}}$ (ng/m ³)
NAP	0.001	85.71	0.08571	116.76	10.00706
ACY	0.001	29.99	0.02999	25.84	0.77512
ACE	0.001	126.54	0.12654	130.15	16.46917
FLU	0.0005	55.88	0.02794	57.10	1.59546
PHE	0.0005	662.78	0.33139	286.56	94.96312
ANT	0.0005	68.67	0.03433	56.21	1.92996
FLA	0.05	888.88	44.44423	1,096.36	48,726.70224
PYR	0.001	261.42	0.26142	520.34	136.02585
BaA	0.005	231.86	1.15932	83.67	96.99973
CHR	0.03	316.20	9.48589	604.40	5,733.31382
BbF	0.1	309.43	30.94302	344.09	10,647.24599
BkF	0.05	2,402.90	120.14512	4,027.57	483,892.90268
BaP	1	670.24	670.23810	1,007.94	675,561.73047
InP	0.1	-	-	47.94	-
DbA	1.1	124.11	136.52008	7.35	1,003.48508
BgP	0.02	25.86	0.51719	621.24	321.29966
Total		6,260.47	1,014.35	9,033.53	1,226,245.45
ความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิต			8.825E-02	1.169E-01	

หมายเหตุ: ค่า TEF อ้างอิงจาก Larsen and Larsen (1998) ยกเว้นค่า TEF ของ Nap, Acy, Ace อ้างอิงจาก Nisbet and Lagoy (1992)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเข้มข้น และการแพร่กระจายของฝุ่นละออง รวมถึงโลหะหนัก และสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จากตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บจากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือในร้านค้าของเก่า บริเวณซอยเสือใหญ่อุทิศ การตัดโลหะด้วยความร้อน ในร้านค้าของเก่า อำเภอเมืองมุกดาหาร และการเผาสายไฟในที่โล่ง ณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้วยเครื่อง 8-stage cascade impactor ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. ผลการศึกษาความเข้มข้น และรูปแบบการกระจายตัวของฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ พบว่าการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือส่งผลให้เกิดฝุ่นละอองหยาบ (311.17 ± 175.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) มากกว่าฝุ่นละอองละเอียด (86.73 ± 25.42 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (33.99 ± 17.86 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับผลวิเคราะห์การกระจายตัวของฝุ่นละอองที่พบว่า ฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือจะกระจายตัวแบบ Bimodal distribution ซึ่งมีพีคหลักอยู่ในช่วง Coarse particle และมีพีครองอยู่ในช่วง Accumulation mode นอกจากนี้ ยังพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในวันที่มีกิจกรรมมีค่ามากกว่าวันที่ไม่มีกิจกรรม รวมถึงมากกว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจากโรงเรียนบริเวณใกล้กับร้านค้าของเก่า ขณะที่การตัดโลหะด้วยความร้อนจะส่งผลให้เกิดความเข้มข้นฝุ่นละอองหยาบ ($3,550.74 \pm 3,053.94$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ฝุ่นละอองละเอียด ($3,901.89 \pm 1,558.95$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (667.57 ± 326.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution ที่มีพีคหลักปรากฏอยู่ในช่วง Accumulation mode และมีพีครองอยู่ในช่วง Coarse mode เช่นเดียวกับกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่งที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองหยาบ ($4,529.03 \pm 2,722.10$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ฝุ่นละอองละเอียด ($3,557.50 \pm 1,391.11$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และฝุ่นละอองละเอียดมาก ($1,045.82 \pm 665.58$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีรูปแบบการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution ที่มีพีคหลักอยู่ในช่วง Coarse particle และมีพีครองอยู่ในช่วง Accumulation mode

2. ผลการศึกษาความเข้มข้น และการกระจายตัวของโลหะหนัก 6 ชนิด ได้แก่ Fe, Cr, Zn, Cu, Pb และ Mn บนอนุภาคฝุ่นละออง จากกิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทั้ง 3 กิจกรรม พบว่ากิจกรรมการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือมี Fe เป็นโลหะหนักที่มีความเข้มข้นมากที่สุดบนฝุ่นละอองทุกขนาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนฝุ่นละอองหยาบ ที่มีความเข้มข้นของ Fe มากกว่าโลหะ

หนักชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนักแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน Fe, Cr และ Zn มีการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution ที่มีพีคหลักในช่วง Coarse particle ส่วน Pb มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution มีพีคหลักอยู่ในช่วง Coarse particle และพีครองอยู่ในช่วง Accumulation mode และ Cu ที่กระจายตัวแบบ Unimodal distribution ในช่วง Coarse particle ขณะที่ กิจกรรมการตัดโลหะด้วยความร้อน Fe บนฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียด มีความเข้มข้นมากกว่าโลหะหนักชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยการกระจายตัวของโลหะหนักในฝุ่นละอองมีรูปแบบต่างกัน คือ Fe, Cr, Zn และ Cu มีการกระจายตัวแบบ Trimodal distribution มีพีคหลักอยู่ในช่วง Accumulation mode และพีครองในช่วง Coarse mode ในขณะที่ Pb และ Mn มีการกระจายตัวแบบ Bimodal distribution กิจกรรมเผาสาไฟในที่โล่งพบว่า Fe มีความเข้มข้นสูงสุดในฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียด โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับโลหะหนักชนิดอื่นๆ ในขณะที่ฝุ่นละอองละเอียดมากพบพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ รูปแบบการแพร่กระจายของโลหะหนักจากกิจกรรมเผาสาไฟในที่โล่งพบว่า Fe, Cr, Zn, Pb และ Mn มีการกระจายตัวแบบ Bimodal โดยมีพีคหลักอยู่ในช่วง Coarse mode และการกระจายตัวรองลงมาในช่วง Accumulation mode ในขณะที่ Cu พบการกระจายตัวแบบ Unimodal ในช่วง Accumulation mode เท่านั้น

3. ผลการศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายตัวของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) จากกิจกรรมตัดด้วยความร้อน และกิจกรรมเผาสาไฟในที่โล่งพบว่า กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนมีส่วนของสาร PAHs 5 วงอะโรมาติก มีสัดส่วนสูงสุดในฝุ่นละอองทั้งหมด คือ 59.63% รองลงมาคือสาร PAHs 4 วงอะโรมาติก 6 วงอะโรมาติก และ 3 วงอะโรมาติก ตามลำดับ และมีสัดส่วนสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งในกลุ่ม 3 สูงที่สุดในฝุ่นละอองทั้งหมด เท่ากับ 58.07% รองลงมาคือกลุ่ม 2B กลุ่ม 1 และกลุ่ม 2A ตามลำดับ กิจกรรมเผาสาไฟในที่โล่งพบว่ามีสัดส่วนสาร PAHs 5 วงอะโรมาติกสูงสุด (55.67%) รองลงมาคือ 4 วงอะโรมาติก 3 วงอะโรมาติก 2 วงอะโรมาติก และ 6 วงอะโรมาติก ตามลำดับ มีสัดส่วนสาร PAHs ที่ก่อให้เกิดมะเร็งในกลุ่ม 2B สูงที่สุดในฝุ่นละอองทั้งหมด รองลงมาคือกลุ่ม 3, กลุ่ม 1 และกลุ่ม 2A ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาร PAHs บางชนิดที่เกาะบนฝุ่นละอองจากการตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสาไฟในที่โล่งอาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

4. ความเสี่ยงในการสัมผัสโลหะหนักในฝุ่นละอองจากผ่านทางหายใจ พบว่าการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ มีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในการสัมผัส Cr บนอนุภาคฝุ่นละอองหยาบ และฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองละเอียดมากในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง ในขณะที่การสัมผัส Pb บนอนุภาคฝุ่นละอองละเอียดมาก และฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองหยาบมีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ยกเว้นผู้ปฏิบัติงานเพศหญิงที่สัมผัส Pb ในฝุ่นละอองหยาบที่พบว่ามีความเสี่ยงสูงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ > 10$) กิจกรรมเผาสาไฟในที่โล่งพบว่า ผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัส Cr และ Pb

บนอนุภาคฝุ่นละอองละเอียด และฝุ่นละอองหยาบมีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง ($HQ \geq 1$) ในผู้ปฏิบัติงานเพศชายและเพศหญิง และผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสโลหะหนักบนฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนพบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งปอดตลอดช่วงชีวิตจากการรับสัมผัสสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนและการเผาสายไฟ มีค่าเท่ากับ $1.169E-01$ คือมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปอด 1.169 ราย ต่อผู้รับสัมผัส 10 คน และ $8.825E-02$ มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปอด 8.825 ราย ต่อผู้รับสัมผัส 100 คน ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการกระจายของอนุภาคฝุ่นละออง โลหะหนัก และสาร PAHs จากจุดเก็บตัวอย่างที่เป็นร้านค้าแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชุมชนที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ แหล่งอื่นๆ เช่น แหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จังหวัดนนทบุรี จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นต้น

2. ควรศึกษาการกระจายของอนุภาคฝุ่นละออง โลหะหนัก และสาร PAHs จากกระบวนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เช่น การคัดแยกแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board, PCB) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. **คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ**. กรุงเทพฯ. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. **เอกสารประกอบการสัมมนา โครงการสำรวจปริมาณและชนิดของซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2556. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2555**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2556**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2560. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2559**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2561. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2560**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2562. (ร่าง) **คู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จากภาคครัวเรือนสำหรับร้านรับซื้อของเก่า**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://infofile.pcd.go.th/law/Draft_570822.pdf?CFID=282433&CFTOKEN=30419644.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2562. **เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.pcd.go.th/info_serv/air_dust.htm.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2558. **ข้อมูลคุณภาพอากาศรายวัน**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=1>.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2558. **แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง กรณีขยะอิเล็กทรอนิกส์**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://hia.anamai.moph.go.th/download/hia/manual/book/book40.pdf>.
- จิราภรณ์ อ่ำพันธ์. 2543. **อันตรายจากปรอท**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=79
- ชมพูนุท พรหมภักดี. 2555. **“แนวทางการรับมือปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย (The Ways to Cope with the Problem of Electronic Waste in Thailand)”**. กรุงเทพฯ. สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา. เอกสารอัดสำเนา.
- ญาณัญญา ศิริภักดิ์ธาดา. 2553. **“ยุทธศาสตร์การสร้างมูลค่าเพิ่มของการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลเชิงธุรกิจสำหรับผู้ประกอบการและชุมชนในเขตจังหวัดภาคกลางของประเทศไทย”**. กรุงเทพฯ. คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. เอกสารอัดสำเนา.
- ณัฐชัย ภาณุโสภณ. พรพิมล กองทิพย์. วิทยา อยู่สุข. ไชยรินทร์ แห่งทอง. ดุสิต สุจิรารัตน์. 2559. **“การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานที่สัมผัสกับ โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ในโรงงานหลอมกระป๋อง”**. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต. 134-139.

- เบญจวรรณ ธงรีว. 2558. “การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของประชากรในจังหวัดราชบุรี จากการรับสัมผัสโลหะในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀).” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วชร กาลาสี. นฤปดี ศรีสังข์. ภัทร สุพพัตกุล. พีระพงศ์ ทีฆสกุล. 2549. “ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ส่วนที่ 1: อนุภาคเขม่าควัน และฝุ่นแป้ง” Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. 20 : 75 – 79.
- ปาจริย์ ทองสนิท. วิชญา อิมกระจำง. ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์. 2556. “สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่น PM10 ในช่วงการเกิดหมอกควันของจังหวัดเชียงใหม่.” กรุงเทพฯ.
- พงศ์เทพ วิจารณ์ะเดช. 2562. “Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs).” [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.med.cmu.ac.th/dept/commed/2015/images/3153042560/7Polycyclic_Aromatic_Hydrocarbons.pdf.
- สุจิตรา วาสนาดำรงดี และ ปเนต มโนมัยวิบูลย์. 2555. “ชุดความรู้ เรื่อง การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ (E-waste).” กรุงเทพฯ. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. เอกสารอัดสำเนา.
- สุจิตรา วาสนาดำรงดี. ปณิตา ตันวัฒน์. ศีลาจุฑา ดำรงศิริ. 2558. “การสำรวจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนแออัดในกรุงเทพมหานครที่ประกอบอาชีพถอดแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์.” วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. 11(2) : 5-23.
- สุจิตรา วาสนาดำรงดี. 2558. “สถานการณ์ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์.” กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. เอกสารอัดสำเนา.
- สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. 2561. “ขยะอิเล็กทรอนิกส์ : ขยะพิษมหันตภัยร้ายจากเทคโนโลยี.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2561/aug2561-2.pdf.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 2562. “ผลการสำรวจรูปร่างทั่วประเทศ.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.sizethailand.org/region_all.html.
- อรชร ฉิมจารย์. ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2560. “การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นที่ผนังของบ้านเรือนในเขตพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสุโขทัย.” วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. 13 : 20-33.
- อรรวรรณ พุทธิสุทธิ และศุสิทธิ์ แสงกระจำง. 2553. “ความเป็นพิษของขยะอิเล็กทรอนิกส์.” วารสารพิษวิทยาไทย. 25(1) : 67-76.
- AFSCME. 2011. Welding Hazards. [Online]. Available : <https://www.afscme.org/news/publications/workplace-health-and-safety/fact-sheets/pdf/Welding-Hazards-AFSCME-fact-sheet.pdf>.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. [Online]. Available : <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>.

- Baldé, C.P. Forti V. Gray, V. Kuehr, R. Stegmann P. 2017. "The Global E-waste Monitor – 2017." Geneva : United Nations University (UNU).
- Bi, X. Bernd, R.T.S. Wang, Z. Wang, X. Sheng, G. Fu, J. 2010. "The major components of particles emitted during recycling of waste printed circuit boards in a typical e-waste workshop of South China." *Atmospheric Environment*. 44 : 4440-4445.
- Cho, H.S. Tong, H. McGee, K.J. Baldauf, W.R. Krantz, T.Q. Gilmour, L.M. 2009. "Comparative Toxicity of Size-Fractionated Airborne Particulate Matter Collected at Different Distances from an Urban Highway." *Environmental Health Perspectives*. 117(11) : 1682 – 1689.
- Cincinelli, A. Bubba, M.D. Martellini, T. Gambaro, A. Lepri, L. 2007, "Gas-particle concentration and distribution of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Prato (Italy). *Chemosphere*. 68 : 472-478.
- Damrongsiri, S. Vassanadumrongdee, S. Tanwattana, P. 2016. "Heavy metal contamination characteristic of soil in WEEE (waste electrical and electronic equipment) dismantling community: a case study of Bangkok, Thailand." *Environmental Science and Pollution Research*. 23 (17) : 17026–17034.
- Das, S. Raj, R. Mangwani, N. Dash, H.R. Chakraborty J. 2014. "Heavy Metals and Hydrocarbons." *Microbial Biodegradation and Bioremediation*. 23-54.
- Deng, W.J. Louie, P.K.K. Liu, W.K. Bi, X.H. Fu, J.M. Wong, M.H. 2006. "Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM_{2.5} at an electronic waste recycling site in southeast China." *Atmospheric Environment*. 40 : 6945–6955.
- Dimitrakakis, E. Janz, A. Bilitewski, B. Gidaracos, E. 2009. "Determination of heavy metals and halogens in plastics from electric and electronic waste." *Waste Management*. 29 : 2700-2706.
- EU. 2019. **Air quality standards**. [Online]. Available : www.transportpolicy.net/standard/euair-quality-standards/.
- Geddes, J.A. Murphy, J.G. 2012. "The science of smog: a chemical understanding of ground level ozone and fine particulate matter." *Metropolitan Sustainability*. 205-230.
- Gullett, B.K. Linak, W.P. Touati, A. Wasson S.J. Gatica, S. King, C.J. 2007. "Characterization of air emissions and residual ash from open burning of electronic wastes during simulated rudimentary recycling operations." *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 9 : 69-79.
- Harrison, R.M. Smith, D.J.T. Luhana, L. 1996. "Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK." *Environmental Science and Technology*. 30(3) : 825-832.

- Huang, C.N. Bao, L.J. Lou, P. Wang, Z.Y. Li, S.M. 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 : 449-456.
- Industrial Safety & Hygiene New (ISHN). 2014. **Welding and manganese: potential neurologic effects**. [Online]. Available : <https://www.ishn.com/articles/98176-welding-and-manganese-potential-neurologic-effects>.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 2019. **Agents classified by the IARC monograph**. [Online]. Available : <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 2006. “**IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**.” Volume 87. Geneva. WHO press.
- Jenkins, N.T. Pierce, W.M.G. Eagar, T.W. 2005. “Particle Size Distribution of Gas Metal and Flux Cored Arc Welding Fumes, Impactor separation of welding fumes shows at least two size modes, the relative magnitude of which is determined by the welding process.” *Welding research*. 156-163.
- Julander, A. Lundgren, L. Skare, L. Grandér, M. Palma, B. Vahter, M. Lidén, C. 2014. “Formal recycling of e-waste leads to increased exposure to toxic metals: An occupational exposure study from Sweden.” *Environment International*. 73 : 243-251.
- Jung, H.K. Yan, B. Chillrud, N.S. Perera, P.F. Whyatt, R. Camann, D. Kinney, L.P. Miller L.R. 2010. “Assessment of Benzo(a)pyrene-equivalent Carcinogenicity and Mutagenicity of Residential Indoor versus Outdoor Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Exposing Young Children in New York City.” *Environmental Research and Public Health*. 7 : 1889-1900.
- Keshtkar, H. Ashbaugh, L.L. 2007. “Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon particulate emission factors from agricultural burning.” *Atmospheric Environment*. 41 : 2729-2739.
- Larsen, J.C. Larsen. P.B. 1998. “Chemical carcinogens. In: Herster RE, Harrison RM (eds) *Air pollution and health*.” Royal Society of Chemistry Cambridge. 33-56
- Leung, A.O. Duzgoren-Aydin, N.S. Cheung, K.C. Wong, M.H. 2008. Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China. *Environmental Science & Technology*. 42(7) : 2674-2680.
- Liu, L. Urch, B. Poon, R. Szyszkowicz, M. Speck, M. Gold, R.D. Wheeler, J.A. Scott, A.J. Brook, R.J. Thorne, S.P. Silverman, S.F. 2015. “Effects of Ambient Coarse, Fine, and Ultrafine Particles and Their Biological Constituents on Systemic Biomarkers: A Controlled Human Exposure Study.” *Environmental Health Perspectives*. 123(6) : 534 – 540.

- Menichini, E. Monfredini, F. Merli, F. 1999. "The temporal variability of the profile of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air: study in a medium traffic area in Rome, 1993-1998. *Atmospheric Environment*. 33 : 3739-3750.
- Nisbet, I.C.T. LaGoy P.K. 1992. "Toxic equivalent factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)." *Regul Toxicol Pharmacol*.16 : 290-300.
- New Jersey Department of Health and Senior Services. 1998. **Hazardous Substance Fact Sheet**. [Online]. Available : <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1036.pdf>
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2011. **NICKEL (SOLUBLE)**. [Online]. Available : <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/7440-02.html>
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2019. **Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposure to Hexavalent Chromium**. [Online]. Available : https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-128/pdfs/2013_128.pdf
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2019. **Welding and Manganese**. [Online]. Available : <https://www.cdc.gov/niosh/topics/welding/default.html>
- OEHHA. 1993. "**Benzo[a]pyrene as a toxic air contaminant. In: Part B. Health Effects of Benzo [a] pyrene.**" California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section. Berkeley.
- OEHHA. 2005. "**Air toxics hot spots program risk assessment guidelines. In: Part II.**" Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Factors. California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section. Oakland.
- Panagiotou, T. Levendis, Y. 1994. "A study on the combustion characteristics of PVC, poly(styrene), poly(ethylene), and poly(propylene) particles under high heating rates." *Combustion and Flame*. 99 : 53-62.
- Pant, P. Baker, S.J. Goel, R. Guttikunda, S. Goel, A. Shukla, A. Harrison R.M. 2016. "Analysis of size-segregated winter season aerosol data from New Delhi, India." *Atmospheric Pollution Research*. 7 : 100-109.
- Philippine Center for Investigative Journalism. 2009. **The bane of hi-tech waste**. [Online]. Available : <https://pcij.org/blog/2008/10/10/the-bane-of-hi-tech-waste>.
- Ramírez, N. Cuadras, A. Rovira, E. Marcé, R.M. Borrull, F. 2011. "Risk assessment related to atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in gas and particle phases near industrial sites." *Environmental Health Perspectives*. 119(8) : 1110-1116.
- Ruan, J. Hu, J. Xu, Z. Zhang, J. 2016. "Exposure risks of noise and heavy metals in dismantling lines for recovering waste televisions." *Journal of Cleaner Production*. 112 part 5 : 4469-4476.

- Sandström, T. Nowak, D. Bree, V.L. 2005. "Health effects of coarse particles in ambient air: messages for research and decision-making." *European Respiratory Journal*. 26 : 187 – 188.
- Samet, J.M. Rappold, A. Graff, D. Cascio, W.E. Berntsen, J.H. Huang, Y.C. 2009. "Concentrated Ambient Ultrafine Particle Exposure Induces Cardiac Changes in Young Healthy Volunteers." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 179 : 1034 – 1042.
- Singh, V.P. Srivastava², R.K. Neeraj, C. Jain, M. 2017. "Health Risk Assessment of Heavy Metal Contaminated Site: Case study of Rania Industrial Belt, Kanpur." *The International Journal of Engineering and Science*. 6(5) : 52 – 58.
- Slezakova, K. Morais, S. Pereira, D.M. 2012. "Indoor Air Pollutants: Relevant Aspects and Health Impacts." *Environmental Health - Emerging Issues and Practice* : 125-146.
- Spezzano, P. Picini, P. Cataldi, D. 2009. "Gas-and particle-phase distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in two- stroke, 50-cm³ moped emissions." *Atmospheric Environment*. 43, 539-545.
- State of California's Air Resources Board. 2019. **Part H - Method ON-7: Determination of Size Distribution of Particulate Matter from Stationary Sources**. [Online]. Available : <https://www.ontario.ca/document/ontario-source-testing-code/part-h-method-7-determination-size-distribution-particulate-matter-stationary-sources>.
- Tisch Environmental, Inc. 1999. "**Model 20-800 Ambient Cascade Impactor (Non-viable) OPERATIONS MANUAL**." Ohio. เอกสารอัดสำเนา.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2008. **Characterizing Community Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in a Tri-State Area**. [Online]. Available : <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/2015csatam/ShelbyCountyProjectNarrative.pdf>.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 1992. "**Guidelines for Exposure Assessment**." Environmental Protection Agency. Washington.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 1999a. "**Compendium Method IO-3.2 DETERMINATION OF METALS IN AMBIENT PARTICULATE MATTER USING ATOMIC ABSORPTION (AA) SPECTROSCOPY**." Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 1999b. "**Compendium Method TO-13A Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)**." Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2011. "**Exposure Factors Handbook: 2011 Edition**." National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC.

- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2016. “**Exposure Assessment Tools by Routes – Inhalation Calculations.**” [Online]. Available : <https://www.epa.gov/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2018. “**Dose-Response Assessment for Assessing Health Risks Associated With Exposure to Hazardous Air Pollutants.**” [Online]. Available : <https://www.epa.gov/fera/dose-response-assessment-assessing-health-risks-associated-exposure-hazardous-air-pollutants>.
- Wang, J. Chen, S. Tian, M. Zheng, X. Gonzales, L. Ohura, T. Mai, B. Simonich, S.L.M. 2012. “Inhalation cancer risk associated with exposure to complex polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in an electronic waste and urban area in south China.” *Environmental Science and Technology*. 46 : 745-9752.
- Wilson, W.E. Chow, J.C. Claiborn, C. Fusheng, W. Engelbrecht, J. Watson, J.G. 2002. “Monitoring of particulate matter outdoors.” *Chemosphere*. 49(9) : 1009-1043.
- World Health Organization (WHO). 2000. **Air Quality Guidelines for Europe Second Edition**. WHO regional publications. European series ; No. 91. Copenhagen.
- Wu, D. Wang, Z. Chen, J. Kong, S. Fu, X. Deng, H. Shao, G. Wu, G. 2014. “Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in atmospheric PM_{2.5} and PM₁₀ at a coal- based industrial city: Implication for PAH control at industrial agglomeration regions, China.” *Atmospheric Research*, 149 : 217-229.
- Zheng, X. Xu, F. Chen, K. Zeng, Y. Luo, X. Chen, S. Mai B, Covaci, A. 2015. “Flame retardants and organochlorines in indoor dust from several e-waste recycling sites in South China: Composition variations and implications for human exposure.” *Environment International*. 78 : 1-7.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง โลหะหนัก และ PAHs

ภาคผนวก ก-1 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง

1) หาอัตราการไหลเฉลี่ยที่สภาวะความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน (Q_{std}) โดยคำนวณจากสมการที่ ก-1

$$V_a = Q_a t \quad \text{ก-1}$$

เมื่อ

V_a = ปริมาตรอากาศทั้งหมดขณะการเก็บตัวอย่าง (m^3)

Q_a = อัตราการไหลเฉลี่ยของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (m^3/min)

t = ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (min)

2) หาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่างที่สภาวะความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน จากสมการ ก-2

$$\left(\frac{P_{std} V_{std}}{T_{std}} \right) = \left(\frac{P_a V_a}{T_a} \right)$$

$$V_{std} = \left(\frac{P_a V_a}{T_a} \right) \left(\frac{T_{std}}{P_{std}} \right) \quad \text{ก-2}$$

P_{std} = ความกดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 101.325 kPa

P_a = ความกดอากาศเฉลี่ยของบรรยากาศขณะการเก็บตัวอย่าง (kPa)

T_a = อุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยขณะการเก็บตัวอย่าง (K)

T_{std} = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน เท่ากับ 298 K

V_{std} = ความกดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

V_a = ปริมาตรอากาศทั้งหมดขณะการเก็บตัวอย่าง (m^3)

3) หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด จากสมการที่ ก-3

$$C = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V_{std}} \quad \text{ก-3}$$

เมื่อ

C = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่สภาวะมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

W_f = น้ำหนักกระดาษกรองหลังการเก็บตัวอย่าง (g)

W_i = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการเก็บตัวอย่าง (g)

10^6 = การแปลงหน่วยจาก กรัม เป็น ไมโครกรัม

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง Stage 7 จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อนในวันที่ 29 เมษายน 2558

- หาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่าง

$$V_a = Q_a t$$

Q_a = 28.316 l/min

t = 30 min

แทนค่า

$$V = 28.316 \frac{\text{l}}{\text{min}} \times 30 \text{ min} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$V = 0.849 \text{ m}^3$$

- หาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่างที่สภาวะความดัน และอุณหภูมิมาตรฐาน จากสมการที่ ก-2

$$V_{std} = \left(\frac{P_a V_a}{T_a} \right) \left(\frac{T_{std}}{P_{std}} \right) \quad \text{ก-2}$$

$$P_{std} = 101.325 \text{ kPa}$$

$$P_a = 102.0 \text{ kPa}$$

$$T_a = 307.15 \text{ K}$$

$$T_{std} = 298 \text{ K}$$

$$V_a = 0.849 \text{ m}^3$$

แทนค่า

$$V_{std} = \left(\frac{102.0 \text{ kPa} \times 0.849 \text{ m}^3}{307.15 \text{ K}} \right) \left(\frac{298 \text{ K}}{101.325 \text{ kPa}} \right)$$

$$V_{std} = 0.830 \text{ m}^3$$

- หาคความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่สภาวะมาตรฐาน จากสมการที่ ก-3

$$C = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V_{std}}$$

ที่ Stage 7

$$W_f = 0.40886 \text{ g}$$

$$W_i = 0.40748 \text{ g}$$

$$V_{std} = 0.830 \text{ m}^3$$

แทนค่า

$$C = \frac{(0.40886 - 0.40748) \times 10^6}{0.830}$$

$$C = 1,666.50 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

ภาคผนวก ก-2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักได้แก่ Fe Cr Zn Pb Cu และ Mn จากสารละลายมาตรฐานโลหะหนักเข้มข้น 100 mg/L ให้มีความเข้มข้นดังตารางที่ ก-2.1 โดยคำนวณปริมาตรของสารละลายมาตรฐานจากสมการที่ ก-4 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad \text{ก-4}$$

เมื่อ

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก (mg/L)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก (ml)

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ต้องการ (mg/L)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ต้องการ (ml)

ตารางที่ ก-2.1 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

โลหะหนัก	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ต้องการ (mg/L)
Fe	0.050, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500, 3.000
Cr	0.080, 0.300, 0.700, 1.000, 3.000, 5.000
Zn	0.008, 0.010, 0.050, 0.100, 0.300, 0.500
Cu	0.030, 0.050, 0.100, 0.500, 1.000, 1.500
Pb	0.100, 0.300, 0.500, 1.000, 2.000, 3.000
Mn	0.040, 0.080, 0.100, 0.300, 0.500, 1.000

ตัวอย่างวิธีคำนวณการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Fe ความเข้มข้น 0.05 mg/l ปริมาตร 25.00 ml โดยใช้สมการที่ ก-4

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \mu\text{g/ml} \times V_1 = (0.05 \text{ mg/l}) \times (25.00 \text{ ml})$$

$$V_1 = 0.0125 \text{ ml}$$

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโลหะหนักเข้มข้น 100 mg/l จำนวน 0.0125 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 25.00 ml

หมายเหตุ: การคำนวณที่ความเข้มข้นอื่นๆ ทำเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น โดยใช้ $C_1V_1 = C_2V_2$

2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม 16 PAHs (ng/m^3)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน PAHs จำนวน 16 ชนิด จาก stock $10 \mu\text{g}/\text{ml}$ ปริมาตร $1 \mu\text{l}$ ให้มีความเข้มข้น $0.0025, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0$ และ $5.0 \mu\text{g}/\text{ml}$ ตามลำดับ โดยใช้สมการที่ ก-4

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad \text{ก-4}$$

เมื่อ

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลาย stock 16 PAHs ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

V_1 = ปริมาตรของสารละลาย stock 16 PAHs (μl)

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ต้องการ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ต้องการ (μl)

ตัวอย่างวิธีคำนวณจาก stock $10 \mu\text{g}/\text{ml}$ โดยเตรียมให้มีความเข้มข้น $1.0 \mu\text{g}/\text{ml}$ ปริมาตร $1,000 \mu\text{l}$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$10 \mu\text{g}/\text{ml} \times V_1 = 1.0 \mu\text{g}/\text{ml} \times 1,000 \mu\text{l}$$

$$V_1 = 100 \mu\text{l}$$

ปิเปตสารละลายจาก stock $10 \mu\text{g}/\text{ml}$ จำนวน $100 \mu\text{l}$ ปรับปริมาตรด้วย Acetonitrile ให้ครบ $1,000 \mu\text{l}$

หมายเหตุ: การคำนวณที่ความเข้มข้นอื่นๆ ทำเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น โดยใช้ $C_1V_1 = C_2V_2$

ภาคผนวก ก-4 การคำนวณความเข้มข้นของโลหะหนัก และ PAHs

1) การคำนวณความเข้มข้นของโลหะหนัก

การหาความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างโดยแทนค่า Absorbance ในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานโลหะหนัก ดังสมการที่ ก-5 และนำความเข้มข้นโลหะหนักในตัวอย่างที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐานมาคำนวณให้อยู่ในรูปน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$y = mx \pm c \quad \text{ก-5}$$

เมื่อ

y = ค่า Absorbance

x = ความเข้มข้นของโลหะหนัก (mg/ml)

m = ความชันของสมการเส้นตรง

c = จุดตัดบนแกน Y ของสมการเส้นตรง

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของ Fe ในตัวอย่างฝุ่นละออง stage 7 จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน โดยใช้กระดาษกรองครึ่งแผ่น จากการเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตร 0.830 m³ ที่ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm ตัวอย่างมีค่า Absorbance เท่ากับ 0.0123 และสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานคือ $y = 0.0774x - 0.0006$

$$y = mx \pm c$$

$$0.0123 = 0.0774x - 0.0006$$

$$x = 0.167 \text{ mg/ml}$$

ความเข้มข้นของ Fe ในสารละลายตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.167mg/ml แต่เนื่องจากทำการเจือจางสารละลายตัวอย่าง 10 เท่า ดังนั้นความเข้มข้นของ Fe ในสารละลายตัวอย่างจึงมีค่าเท่ากับ 16.700 mg/ml

คำนวณความเข้มข้นของ Fe ในหน่วย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังสมการที่ ก-6

$$C_{std} = \frac{C}{V_{std}} \times V_{final} \quad \text{ก-6}$$

เมื่อ

C_{std} = ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สภาวะมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C = ความเข้มข้นของโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้

V_{std} = ปริมาตรตัวอย่างอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

V_{final} = ปริมาตรตัวอย่างสารละลายสุดท้าย (ml) เท่ากับ 10 ml

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของ Fe ในหน่วย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$C_{std} = \frac{C}{V_{std}} \times V_{final}$$

$$C_{std} = \frac{16.700 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 10 \text{ ml} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{ml}} \times \frac{1000\mu\text{g}}{1\text{mg}}}{0.830 \text{ m}^3}$$

$$C_{std} = 201.185 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

จากการวิเคราะห์โลหะหนักในฝุ่นละอองบนกระดาษกรองครึ่งแผ่น ดังนั้นความเข้มข้นของ Fe ในตัวอย่างฝุ่นละอองจึงมีค่าเท่ากับ $201.185 \mu\text{g}/\text{m}^3 \div 0.5 = 402.370 \mu\text{g}/\text{m}^3$

2) การคำนวณความเข้มข้นของ 16 PAHs

การหาความเข้มข้นของสาร PAHs โดยการพล็อตพื้นที่ใต้กราฟ ของ PAH และ ความเข้มข้นของ PAHs $\mu\text{g/ml}$ ดังสมการที่ ก-5 และนำความเข้มข้น PAH ในตัวอย่างที่คำนวณได้จากกราฟ มาตรฐานมาคำนวณให้อยู่ในรูปน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$y = mx \pm c \quad \text{ก-5}$$

เมื่อ

y = พื้นที่ใต้กราฟ

x = ความเข้มข้นของ PAH ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

m = ความชันของสมการเส้นตรง

c = จุดตัดบนแกน Y ของสมการเส้นตรง

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของ BaP ในตัวอย่างฝุ่นละออง stage F จากกิจกรรมเผาสายไฟ โดยใช้กระดาษกรองครึ่งแผ่นจากการเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรรวม 2.4672 m^3 ที่ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 atm ตัวอย่างมีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 6,688 และสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานคือ $y = 72176x - 246.91$

$$y = mx \pm c$$

$$6,688 = 7217.6x - 246.91$$

$$x = 0.0961 \mu\text{g}/\text{ml}$$

ความเข้มข้นของ BaP ในสารละลายตัวอย่างมีค่าเท่ากับ $0.0961 \mu\text{g}/\text{ml}$

คำนวณหาความเข้มข้นของ PAH ในหน่วย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังสมการที่ ก-6

$$C_{std} = \frac{C}{V_{std}} \times V_{final} \quad \text{ก-6}$$

เมื่อ

C_{std} = ความเข้มข้นของ PAHs ที่สภาวะมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C = ความเข้มข้นของ PAHs ที่วิเคราะห์ได้ ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

V_{std} = ปริมาตรตัวอย่างอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

V_{final} = ปริมาตรตัวอย่างสารละลายสุดท้าย (ml) เท่ากับ 1 ml

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของ BaP ในตัวอย่างฝุ่นละออง stage F ในหน่วย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$$C_{std} = \frac{C}{V_{std}} \times V_{final}$$

$$C_{std} = \frac{0.0961 \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \times 1 \text{ ml}}{2.4672 \text{ m}^3}$$

$$C_{std} = 0.0390 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$C_{std} = 38.9513 \text{ ng}/\text{m}^3$$

จากการวิเคราะห์ PAH ในฝุ่นละอองบนกระดาษกรองครึ่งแผ่น ดังนั้นความเข้มข้นของ BaP ในตัวอย่างฝุ่นละอองจึงมีค่าเท่ากับ $38.9513 \text{ ng}/\text{m}^3 \div 0.5 = 77.9026 \text{ ng}/\text{m}^3$

ภาคผนวก ก-5 การคำนวณการกระจายตัวของฝุ่นละออง โลหะหนัก และ PAHs (Particle Size Distribution)

การกระจายตัวของฝุ่นละออง โลหะหนัก และ PAHs จาก 8 Stage Cascade Impactor แสดงลักษณะความถี่สะสม (Cumulative Frequency) คำนวณจากการแบ่งชั้นการนับจำนวนขนาดของฝุ่น นำค่าที่ได้มาหาผลรวมแต่ละชั้นแสดงข้อมูลเป็นกราฟลอการิทึม ดังสมการที่ ก-7

$$SD = \frac{dc}{d \log dp} \quad \text{ก-7}$$

เมื่อ

SD = การกระจายตัวของฝุ่นละออง

dc = ความเข้มข้นของสารแต่ละชนิด ในแต่ละชั้นของอนุภาคฝุ่น

$d \log dp$ = \log ขนาดชั้นบน - \log ขนาดชั้นล่าง

ตัวอย่างการคำนวณการกระจายตัวของฝุ่นละออง Stage 0 ขนาดอนุภาคฝุ่น 9.0-10.0 μm

$$SD = \frac{dc}{d \log dp}$$

เมื่อ

$$dc = \text{ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ Stage 0} = 97.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$d \log dp = \log \text{ขนาดชั้นบน} - \log \text{ขนาดชั้นล่าง}$$

$$= \log 10 - \log 5.8$$

$$= 1.000 - 0.7634$$

$$= 0.2366$$

$$dp = (10.0 + 9.0) \div 2 = 9.5 \mu\text{m}$$

$$SD = \frac{97.98}{0.2366}$$

Particle Size Distribution ($dc/d \log dp$) = $414.1167 \mu\text{g}/\text{m}^3$

หมายเหตุ: ความเข้มข้นฝุ่นละออง โลหะหนัก และ PAHs ใน Stage 1-7 ทำตามวิธีเดียวกันกับข้างต้น
และนำค่า $dc/d \log dp$ ที่ได้ไปพล็อตกราฟเป็นแกน y และ dp เป็น แกน x แสดงลอการิทึม

ภาคผนวก ข.

อัตราการไหลของปื้มเก็บอากาศ น้ำหนักและความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ตารางที่ ข-1 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ จากกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 6 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.303	28.335	28.357
2	28.452	28.334	
3	28.353	28.286	
4	28.452	28.328	
5	28.303	28.377	
6	28.402	28.303	
7	28.328	28.310	
8	28.427	28.353	
9	28.335	28.427	
10	28.360	28.377	
ค่าเฉลี่ย	28.371	28.343	

ตารางที่ ข-2 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ ในวันที่ไม่มีกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 7 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.459	28.310	28.329
2	28.426	28.237	
3	28.427	28.187	
4	28.328	28.335	
5	28.253	28.360	
6	28.310	28.286	
7	28.353	28.286	
8	28.427	28.360	
9	28.310	28.335	
10	28.279	28.310	
ค่าเฉลี่ย	28.357	28.300	

ตารางที่ ข-3 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ จากกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 8 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.409	28.360	28.364
2	28.261	28.286	
3	28.335	28.286	
4	28.360	28.310	
5	28.360	28.237	
6	28.509	28.409	
7	28.335	28.409	
8	28.484	28.335	
9	28.335	28.409	
10	28.434	28.409	
ค่าเฉลี่ย	28.382	28.345	

ตารางที่ ข-4 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ จากกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 9 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.484	28.261	28.373
2	28.279	28.310	
3	28.353	28.409	
4	28.427	28.360	
5	28.434	28.458	
6	28.310	28.377	
7	28.360	28.427	
8	28.261	28.451	
9	28.279	28.452	
10	28.335	28.427	
ค่าเฉลี่ย	28.352	28.393	

ตารางที่ ข-5 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ จากกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 10 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.335	28.297	28.304
2	28.328	28.297	
3	28.334	28.360	
4	28.163	28.385	
5	28.261	28.083	
6	28.334	28.254	
7	28.205	28.303	
8	28.377	28.328	
9	28.452	28.328	
10	28.328	28.371	
ค่าเฉลี่ย	28.311	28.297	

ตารางที่ ข-6 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ จากกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 20 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.310	28.335	28.384
2	28.459	28.385	
3	28.310	28.385	
4	28.335	28.409	
5	28.459	28.310	
6	28.434	28.261	
7	28.459	28.360	
8	28.484	28.261	
9	28.310	28.286	
10	28.261	28.385	
ค่าเฉลี่ย	28.382	28.385	

ตารางที่ ข-7 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ จากกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 21 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.377	28.442	28.329
2	28.366	28.325	
3	28.261	28.325	
4	28.303	28.313	
5	28.353	28.286	
6	28.402	28.360	
7	28.279	28.279	
8	28.402	28.303	
9	28.402	28.279	
10	28.303	28.279	
ค่าเฉลี่ย	28.344	28.314	

ตารางที่ ข-8 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศ จากกิจกรรมคัดแยกขยะ
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 22 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.382	28.265	28.339
2	28.434	28.230	
3	28.385	28.311	
4	28.385	28.326	
5	28.211	28.241	
6	28.459	28.340	
7	28.334	28.446	
8	28.330	28.320	
9	28.319	28.446	
10	28.320	28.281	
ค่าเฉลี่ย	28.356	28.321	

ตารางที่ ข-9 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน
วันที่ 29 เมษายน 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.335	28.188	28.316
2	28.409	28.286	
3	28.261	28.357	
4	28.310	28.409	
5	28.237	28.434	
6	28.261	28.360	
7	28.286	28.261	
8	28.286	28.385	
9	28.310	28.212	
10	28.409	28.330	
ค่าเฉลี่ย	28.310	28.322	

ตารางที่ ข-10 อัตราการไหลของปื้มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศในวันที่มีการทำงานแต่ไม่มี
กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 20 สิงหาคม 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.385	28.311	28.346
2	28.335	28.328	
3	28.410	28.325	
4	28.410	28.352	
5	28.360	28.337	
6	28.380	28.435	
7	28.371	28.411	
8	28.280	28.311	
9	28.360	28.228	
10	28.325	28.350	
ค่าเฉลี่ย	28.362	28.329	

ตารางที่ ข-11 อัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 27 สิงหาคม 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.327	28.315	28.328
2	28.386	28.409	
3	28.286	28.361	
4	28.237	28.31	
5	28.338	28.237	
6	28.385	28.261	
7	28.386	28.286	
8	28.335	28.286	
9	28.339	28.3	
10	28.360	28.409	
ค่าเฉลี่ย	28.338	28.317	

ตารางที่ ข-12 อัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 18 ธันวาคม 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาที)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.427	28.360	28.330
2	28.386	28.286	
3	28.286	28.286	
4	28.237	28.237	
5	28.330	28.310	
6	28.385	28.385	
7	28.386	28.286	
8	28.235	28.335	
9	28.330	28.409	
10	28.360	28.360	
ค่าเฉลี่ย	28.336	28.325	

ตารางที่ ข-13 อัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศจากกิจกรรมเผาสายไฟ ณ ห้องปฏิบัติการ วันที่ 1 พฤษภาคม 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.459	28.261	28.342
2	28.384	28.409	
3	28.237	28.360	
4	28.335	28.286	
5	28.434	28.237	
6	28.286	28.335	
7	28.385	28.385	
8	28.261	28.236	
9	28.409	28.335	
10	28.409	28.409	
ค่าเฉลี่ย	28.359	28.325	

ตารางที่ ข-14 อัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศจากกิจกรรมเผาสายไฟ ณ ห้องปฏิบัติการ วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาท)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาท)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.385	28.360	28.3435
2	28.237	28.359	
3	28.335	28.310	
4	28.335	28.360	
5	28.385	28.483	
6	28.409	28.409	
7	28.286	28.335	
8	28.310	28.310	
9	28.286	28.360	
10	28.237	28.385	
ค่าเฉลี่ย	28.320	28.367	

ตารางที่ ข-15 อัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศจากกิจกรรมเผาสายไฟ ณ ห้องปฏิบัติการ วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาทีก่อน)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาทีก่อน)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.334	28.360	28.341
2	28.286	28.360	
3	28.409	28.484	
4	28.334	28.237	
5	28.360	28.335	
6	28.434	28.509	
7	28.261	28.212	
8	28.459	28.385	
9	28.286	28.335	
10	28.261	28.188	
ค่าเฉลี่ย	28.342	28.340	

ตารางที่ ข-16 อัตราการไหลของปั๊มก่อนและหลังเก็บตัวอย่างอากาศในวันที่ไม่มีกิจกรรมเผาสายไฟ ณ ห้องปฏิบัติการ วันที่ 12 พฤษภาคม 2558

ครั้งที่	อัตราการไหล (ลิตร/นาทีก่อน)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ลิตร/นาทีก่อน)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังการเก็บตัวอย่าง	
1	28.310	28.484	28.363
2	28.409	28.509	
3	28.385	28.335	
4	28.360	28.409	
5	28.188	28.408	
6	28.310	28.310	
7	28.385	28.360	
8	28.459	28.489	
9	28.409	28.335	
10	28.187	28.261	
ค่าเฉลี่ย	28.340	28.385	

ตารางที่ ข-17 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 6 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40818	0.40915	0.00097	97.98	22.91
		2	0.40818	0.40917			
		3	0.40818	0.40913			
		เฉลี่ย	0.40818	0.40915			
1	5.8-9.0	1	0.41737	0.41798	0.00060	60.27	14.09
		2	0.41736	0.41799			
		3	0.41737	0.41792			
		เฉลี่ย	0.41737	0.41796			
2	4.7-5.8	1	0.41582	0.41635	0.00050	50.17	11.73
		2	0.41584	0.41630			
		3	0.41581	0.41631			
		เฉลี่ย	0.41582	0.41632			
3	3.3-4.7	1	0.41991	0.42041	0.00048	48.82	11.42
		2	0.41990	0.42038			
		3	0.41991	0.42038			
		เฉลี่ย	0.41991	0.42039			
4	2.1-3.3	1	0.40907	0.40950	0.00044	44.11	10.31
		2	0.40907	0.40951			
		3	0.40907	0.40951			
		เฉลี่ย	0.40907	0.40951			
5	1.1-2.1	1	0.40947	0.40995	0.00044	44.78	10.47
		2	0.40947	0.40990			
		3	0.40946	0.40988			
		เฉลี่ย	0.40947	0.40991			
6	0.65-1.1	1	0.45172	0.41608	nd.	nd.	nd.
		2	0.45173	0.41611			
		3	0.45174	0.41611			
		เฉลี่ย	0.45173	0.41610			

ตารางที่ ข-17 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 6 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.42159	0.42198	0.00040	40.41	9.45
		2	0.42158	0.42202			
		3	0.42159	0.42196			
		เฉลี่ย	0.42159	0.42199			
F	<0.43	1	0.40255	0.40299	0.00041	41.08	9.61
		2	0.40256	0.40296			
		3	0.40256	0.40294			
		เฉลี่ย	0.40256	0.40296			

ตารางที่ ข-18 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 7 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.41255	0.41274	0.00019	18.85	10.71
		2	0.41255	0.41276			
		3	0.41258	0.41274			
		เฉลี่ย	0.41256	0.41275			
1	5.8-9.0	1	0.40141	0.40119	0.00008	8.41	4.78
		2	0.40142	0.40112			
		3	0.40142	0.40119			
		เฉลี่ย	0.40142	0.40150			
2	4.7-5.8	1	0.40304	0.40331	0.00025	25.58	14.53
		2	0.40306	0.40330			
		3	0.40305	0.40330			
		เฉลี่ย	0.40305	0.40330			
3	3.3-4.7	1	0.40702	0.40738	0.00036	36.34	20.65
		2	0.40702	0.40738			
		3	0.40703	0.40739			
		เฉลี่ย	0.40702	0.40738			

ตารางที่ ข-18 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 7 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.39719	0.39731	0.00011	10.77	6.12
		2	0.39720	0.39730			
		3	0.39720	0.39730			
		เฉลี่ย	0.39720	0.39730			
5	1.1-2.1	1	0.39758	0.39763	0.00006	6.39	3.63
		2	0.39756	0.39763			
		3	0.39757	0.39764			
		เฉลี่ย	0.39757	0.39763			
6	0.65-1.1	1	0.39705	0.39724	0.00016	16.15	9.18
		2	0.39706	0.39721			
		3	0.39705	0.39719			
		เฉลี่ย	0.39705	0.39721			
7	0.43-0.65	1	0.39894	0.39910	0.00017	17.16	9.75
		2	0.39894	0.39914			
		3	0.39894	0.39909			
		เฉลี่ย	0.39894	0.39911			
F	<0.43	1	0.38659	0.38701	0.00036	36.34	20.65
		2	0.38659	0.38692			
		3	0.38659	0.38692			
		เฉลี่ย	0.38659	0.38695			

ตารางที่ ข-19 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 8 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40739	0.40779	0.00041	40.20	11.58
		2	0.40741	0.40783			
		3	0.40741	0.40782			
		เฉลี่ย	0.40740	0.40781			
1	5.8-9.0	1	0.40586	0.40630	0.00041	40.20	11.58
		2	0.40588	0.40627			
		3	0.40586	0.40626			
		เฉลี่ย	0.40587	0.40628			
2	4.7-5.8	1	0.40541	0.40589	0.00047	46.41	13.37
		2	0.40541	0.40588			
		3	0.40541	0.40588			
		เฉลี่ย	0.40541	0.40588			
3	3.3-4.7	1	0.40289	0.40328	0.00036	35.29	10.17
		2	0.40289	0.40323			
		3	0.40290	0.40325			
		เฉลี่ย	0.40289	0.40325			
4	2.1-3.3	1	0.39279	0.39305	0.00024	23.53	6.78
		2	0.39279	0.39303			
		3	0.39280	0.39302			
		เฉลี่ย	0.39279	0.39303			
5	1.1-2.1	1	0.40019	0.40062	0.00039	37.91	10.92
		2	0.40020	0.40057			
		3	0.40019	0.40055			
		เฉลี่ย	0.40019	0.40058			
6	0.65-1.1	1	0.42694	0.42755	0.00054	53.27	15.35
		2	0.42696	0.42746			
		3	0.42695	0.42747			
		เฉลี่ย	0.42695	0.42749			

ตารางที่ ข-19 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 8 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.39889	0.39919	0.00030	29.09	8.38
		2	0.39889	0.39918			
		3	0.39887	0.39917			
		เฉลี่ย	0.39888	0.39918			
F	<0.43	1	0.41057	0.41106	0.00042	41.18	11.86
		2	0.41059	0.41097			
		3	0.41057	0.41096			
		เฉลี่ย	0.41058	0.41100			

ตารางที่ ข-20 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 9 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40206	0.40257	0.00048	47.77	17.08
		2	0.40206	0.40253			
		3	0.40206	0.40252			
		เฉลี่ย	0.40206	0.40254			
1	5.8-9.0	1	0.40914	0.40921	0.00006	5.97	2.14
		2	0.40915	0.40921			
		3	0.40916	0.40921			
		เฉลี่ย	0.40915	0.40921			
2	4.7-5.8	1	0.39267	0.39296	0.00027	26.87	9.61
		2	0.39267	0.39294			
		3	0.39269	0.39294			
		เฉลี่ย	0.39268	0.39295			
3	3.3-4.7	1	0.41366	0.41401	0.00034	33.51	11.98
		2	0.41366	0.41400			
		3	0.41366	0.41398			
		เฉลี่ย	0.41366	0.41400			

ตารางที่ ข-20 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 9 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.39926	0.39965	0.00039	39.15	14.00
		2	0.39923	0.39964			
		3	0.39925	0.39963			
		เฉลี่ย	0.39926	0.39964			
5	1.1-2.1	1	0.41172	0.41184	0.00007	7.30	2.61
		2	0.41172	0.41178			
		3	0.41172	0.41176			
		เฉลี่ย	0.41172	0.41179			
6	0.65-1.1	1	0.40814	0.40849	0.00033	32.51	11.63
		2	0.40811	0.40845			
		3	0.40814	0.40843			
		เฉลี่ย	0.40813	0.40846			
7	0.43-0.65	1	0.39262	0.39286	0.00025	24.55	8.78
		2	0.39260	0.39286			
		3	0.39262	0.39286			
		เฉลี่ย	0.39261	0.39286			
F	<0.43	1	0.42331	0.42398	0.00062	62.04	22.18
		2	0.42338	0.42397			
		3	0.42337	0.42398			
		เฉลี่ย	0.42335	0.42398			

ตารางที่ ข-21 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 10 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40403	0.40546	0.00145	146.58	33.33
		2	0.40403	0.40545			
		3	0.40396	0.40546			
		เฉลี่ย	0.40401	0.40546			
1	5.8-9.0	1	0.39830	0.39875	0.00045	45.15	10.27
		2	0.39832	0.39876			
		3	0.39830	0.39875			
		เฉลี่ย	0.39831	0.39875			
2	4.7-5.8	1	0.39066	0.39125	0.00061	61.33	13.95
		2	0.39067	0.39128			
		3	0.39066	0.39125			
		เฉลี่ย	0.39066	0.39127			
3	3.3-4.7	1	0.39689	0.39702	0.00014	13.82	3.14
		2	0.39689	0.39705			
		3	0.39690	0.39703			
		เฉลี่ย	0.39689	0.39702			
4	2.1-3.3	1	0.40654	0.40684	0.00031	31.34	7.13
		2	0.40654	0.40685			
		3	0.40654	0.40686			
		เฉลี่ย	0.40654	0.40685			
5	1.1-2.1	1	0.39944	0.39968	0.00021	21.23	4.83
		2	0.39943	0.39965			
		3	0.39944	0.39961			
		เฉลี่ย	0.39944	0.39965			
6	0.65-1.1	1	0.40255	0.40302	0.00046	46.50	10.57
		2	0.40257	0.40301			
		3	0.40256	0.40303			
		เฉลี่ย	0.40256	0.40302			

ตารางที่ ข-21 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 10 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.39018	0.39067	0.00045	45.49	10.34
		2	0.39018	0.39061			
		3	0.39018	0.39061			
		เฉลี่ย	0.39018	0.39063			
F	<0.43	1	0.39819	0.39847	0.00028	28.30	6.44
		2	0.39820	0.39846			
		3	0.39819	0.39849			
		เฉลี่ย	0.39819	0.39847			

ตารางที่ ข-22 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 20 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.45434	0.45578	0.00142	141.13	39.65
		2	0.45437	0.45578			
		3	0.45434	0.45576			
		เฉลี่ย	0.45435	0.45577			
1	5.8-9.0	1	0.45655	0.45716	0.00060	59.49	16.71
		2	0.45655	0.45715			
		3	0.45656	0.45715			
		เฉลี่ย	0.45655	0.45715			
2	4.7-5.8	1	0.45106	0.45137	0.00031	31.07	8.73
		2	0.45105	0.45135			
		3	0.45104	0.45137			
		เฉลี่ย	0.45105	0.45136			
3	3.3-4.7	1	0.44966	0.44999	0.00029	28.43	7.99
		2	0.44968	0.44995			
		3	0.44968	0.44994			
		เฉลี่ย	0.44967	0.44996			

ตารางที่ ข-22 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 20 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.45527	0.45552	0.00022	21.48	6.04
		2	0.45528	0.45551			
		3	0.45528	0.45545			
		เฉลี่ย	0.45528	0.45549			
5	1.1-2.1	1	0.44754	0.44777	0.00022	21.48	6.04
		2	0.44754	0.44776			
		3	0.44755	0.44775			
		เฉลี่ย	0.44754	0.44776			
6	0.65-1.1	1	0.45273	0.45295	0.00020	19.83	5.57
		2	0.45273	0.45292			
		3	0.45273	0.45292			
		เฉลี่ย	0.45273	0.45293			
7	0.43-0.65	1	0.45447	0.45464	0.00016	16.20	4.55
		2	0.45447	0.45463			
		3	0.45446	0.45462			
		เฉลี่ย	0.45447	0.45463			
F	<0.43	1	0.44546	0.44566	0.00017	16.86	4.74
		2	0.44546	0.44560			
		3	0.44546	0.44563			
		เฉลี่ย	0.44546	0.44563			

ตารางที่ ข-23 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 21 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.45128	0.45359	0.00231	233.86	31.55
		2	0.45128	0.45360			
		3	0.45128	0.45359			
		เฉลี่ย	0.45128	0.45359			
1	5.8-9.0	1	0.45316	0.45513	0.00196	197.80	26.68
		2	0.45317	0.45514			
		3	0.45318	0.45511			
		เฉลี่ย	0.45317	0.45513			
2	4.7-5.8	1	0.45313	0.45402	0.00088	89.30	12.05
		2	0.45313	0.45401			
		3	0.45313	0.45401			
		เฉลี่ย	0.45313	0.45401			
3	3.3-4.7	1	0.44313	0.44395	0.00084	84.58	11.41
		2	0.44313	0.44395			
		3	0.44313	0.44399			
		เฉลี่ย	0.44313	0.44396			
4	2.1-3.3	1	0.44499	0.44541	0.00041	41.45	5.59
		2	0.44498	0.44538			
		3	0.44497	0.44538			
		เฉลี่ย	0.44498	0.44539			
5	1.1-2.1	1	0.45442	0.45477	0.00031	31.68	4.27
		2	0.45444	0.45474			
		3	0.45444	0.45473			
		เฉลี่ย	0.45443	0.45475			
6	0.65-1.1	1	0.45016	0.45047	0.00031	31.68	4.27
		2	0.45016	0.45048			
		3	0.45016	0.45047			
		เฉลี่ย	0.45016	0.45047			

ตารางที่ ข-23 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 21 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.45297	0.45310	0.00016	16.51	2.23
		2	0.45294	0.45312			
		3	0.45294	0.45312			
		เฉลี่ย	0.45295	0.45311			
F	<0.43	1	0.45528	0.45544	0.00014	14.49	1.95
		2	0.45529	0.45544			
		3	0.45528	0.45540			
		เฉลี่ย	0.45528	0.45543			

ตารางที่ ข-24 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 22 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40435	0.40442	0.00006	6.32	3.36
		2	0.40438	0.40445			
		3	0.40438	0.40443			
		เฉลี่ย	0.40437	0.40443			
1	5.8-9.0	1	0.40365	0.40384	0.00017	16.63	8.83
		2	0.40368	0.40384			
		3	0.40368	0.40383			
		เฉลี่ย	0.40367	0.40384			
2	4.7-5.8	1	0.41316	0.41328	0.00011	10.98	5.83
		2	0.41318	0.41328			
		3	0.41317	0.41328			
		เฉลี่ย	0.41317	0.41328			
3	3.3-4.7	1	0.41183	0.41196	0.00011	11.31	6.01
		2	0.41184	0.41195			
		3	0.41185	0.41195			
		เฉลี่ย	0.41184	0.41195			

ตารางที่ ข-24 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ
วันที่ 22 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.40052	0.40082	0.00030	30.26	16.08
		2	0.40052	0.40082			
		3	0.40052	0.40083			
		เฉลี่ย	0.40052	0.40082			
5	1.1-2.1	1	0.41688	0.41713	0.00026	25.61	13.60
		2	0.41686	0.41712			
		3	0.41686	0.41712			
		เฉลี่ย	0.41687	0.41712			
6	0.65-1.1	1	0.41859	0.41891	0.00034	34.26	18.20
		2	0.41856	0.41891			
		3	0.41855	0.41891			
		เฉลี่ย	0.41857	0.41891			
7	0.43-0.65	1	0.40278	0.40301	0.00020	19.62	10.42
		2	0.40278	0.40301			
		3	0.40288	0.40301			
		เฉลี่ย	0.40271	0.40301			
F	<0.43	1	0.41828	0.41862	0.00033	33.26	17.67
		2	0.41829	0.41862			
		3	0.41829	0.41862			
		เฉลี่ย	0.41829	0.41862			

ตารางที่ ข-25 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 29 เมษายน 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.39533	0.39719	0.00189	2272.87	17.50
		2	0.39533	0.39722			
		3	0.39532	0.39723			
		เฉลี่ย	0.39533	0.39721			
1	5.8-9.0	1	0.39758	0.39856	0.00097	1168.56	9.00
		2	0.39756	0.39854			
		3	0.39759	0.39854			
		เฉลี่ย	0.39758	0.39855			
2	4.7-5.8	1	0.42187	0.42278	0.00090	1088.25	8.38
		2	0.42187	0.42277			
		3	0.42187	0.42277			
		เฉลี่ย	0.42187	0.42277			
3	3.3-4.7	1	0.41095	0.41222	0.00126	1517.92	11.69
		2	0.41095	0.41222			
		3	0.41096	0.41220			
		เฉลี่ย	0.41095	0.41221			
4	2.1-3.3	1	0.40055	0.40139	0.00085	1028.01	7.92
		2	0.40056	0.40142			
		3	0.40055	0.40141			
		เฉลี่ย	0.40055	0.40141			
5	1.1-2.1	1	0.40689	0.40819	0.00129	1554.06	11.97
		2	0.40689	0.40818			
		3	0.40689	0.40817			
		เฉลี่ย	0.40689	0.40818			
6	0.65-1.1	1	0.40864	0.41003	0.00139	1678.55	12.93
		2	0.40863	0.41004			
		3	0.40864	0.41002			
		เฉลี่ย	0.40864	0.41003			

ตารางที่ ข-25 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 29 เมษายน 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.40748	0.40884	0.00138	1666.50	12.83
		2	0.40749	0.40887			
		3	0.40747	0.40888			
		เฉลี่ย	0.40748	0.40886			
F	<0.43	1	0.40941	0.41025	0.00084	1011.95	7.79
		2	0.40941	0.41025			
		3	0.40942	0.41026			
		เฉลี่ย	0.40941	0.41025			

ตารางที่ ข-26 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง ในวันที่ไม่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 20 สิงหาคม 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40431	0.40476	0.00044	531.08	20.37
		2	0.40433	0.40477			
		3	0.40432	0.40475			
		เฉลี่ย	0.40432	0.40476			
1	5.8-9.0	1	0.41572	0.41592	0.00022	269.56	10.34
		2	0.41570	0.41593			
		3	0.41569	0.41593			
		เฉลี่ย	0.41570	0.41593			
2	4.7-5.8	1	0.40513	0.40578	0.00063	760.41	29.17
		2	0.40517	0.40578			
		3	0.40516	0.40579			
		เฉลี่ย	0.40515	0.40578			
3	3.3-4.7	1	0.41668	0.41677	0.00015	177.03	6.79
		2	0.41665	0.41678			
		3	0.41655	0.41677			
		เฉลี่ย	0.41663	0.41677			

ตารางที่ ข-26 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง ในวันที่ไม่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน
วันที่ 20 สิงหาคม 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.41924	0.41953	0.00029	350.03	13.43
		2	0.41924	0.41953			
		3	0.41924	0.41953			
		เฉลี่ย	0.41924	0.41953			
5	1.1-2.1	1	0.40032	0.40043	0.00012	140.82	5.40
		2	0.40032	0.40045			
		3	0.40033	0.40044			
		เฉลี่ย	0.40032	0.40044			
6	0.65-1.1	1	0.42468	0.42484	0.00016	193.12	7.41
		2	0.42468	0.42483			
		3	0.42467	0.42484			
		เฉลี่ย	0.42468	0.42484			
7	0.43-0.65	1	0.40364	0.40374	0.00009	104.61	4.01
		2	0.40367	0.40375			
		3	0.40366	0.40374			
		เฉลี่ย	0.40366	0.40374			
F	<0.43	1	0.39734	0.39739	0.00007	80.47	3.09
		2	0.39729	0.39738			
		3	0.39729	0.39735			
		เฉลี่ย	0.39731	0.39737			

ตารางที่ ข-27 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน
วันที่ 27 สิงหาคม 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40771	0.40812	0.00036	422.66	10.14
		2	0.40770	0.40804			
		3	0.40771	0.40803			
		เฉลี่ย	0.40771	0.40806			
1	5.8-9.0	1	0.43591	0.43621	0.00025	292.31	7.01
		2	0.43585	0.43608			
		3	0.43583	0.43604			
		เฉลี่ย	0.43586	0.43611			
2	4.7-5.8	1	0.43760	0.43780	0.00023	268.61	6.45
		2	0.43758	0.43781			
		3	0.43756	0.43781			
		เฉลี่ย	0.43758	0.43781			
3	3.3-4.7	1	0.44250	0.44290	0.00041	481.91	11.56
		2	0.44248	0.44289			
		3	0.44246	0.44287			
		เฉลี่ย	0.44248	0.44289			
4	2.1-3.3	1	0.44341	0.44362	0.00020	233.06	5.59
		2	0.44340	0.44360			
		3	0.44340	0.44358			
		เฉลี่ย	0.44340	0.44360			
5	1.1-2.1	1	0.41362	0.41426	0.00061	722.87	17.35
		2	0.41361	0.41420			
		3	0.41359	0.41419			
		เฉลี่ย	0.41361	0.41422			
6	0.65-1.1	1	0.45323	0.45384	0.00059	703.12	16.87
		2	0.45319	0.45381			
		3	0.45319	0.45374			
		เฉลี่ย	0.45320	0.45380			

ตารางที่ ข-27 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน
วันที่ 27 สิงหาคม 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.45375	0.45436	0.00057	679.42	16.30
		2	0.45376	0.45432			
		3	0.45376	0.45431			
		เฉลี่ย	0.45376	0.45433			
F	<0.43	1	0.44913	0.44942	0.00031	363.41	8.72
		2	0.44909	0.44942			
		3	0.44910	0.44940			
		เฉลี่ย	0.44911	0.44941			

ตารางที่ ข-28 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน
วันที่ 18 ธันวาคม 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.44322	0.44335	0.00013	154.85	2.15
		2	0.44322	0.44335			
		3	0.44322	0.44335			
		เฉลี่ย	0.44322	0.44335			
1	5.8-9.0	1	0.44667	0.44693	0.00025	297.79	4.13
		2	0.44665	0.44690			
		3	0.44663	0.44687			
		เฉลี่ย	0.44665	0.44690			
2	4.7-5.8	1	0.45498	0.45539	0.00041	488.38	6.78
		2	0.45498	0.45537			
		3	0.45497	0.45540			
		เฉลี่ย	0.45498	0.45539			
3	3.3-4.7	1	0.44397	0.44435	0.00039	464.56	6.45
		2	0.44396	0.44435			
		3	0.44394	0.44434			
		เฉลี่ย	0.44396	0.44435			

ตารางที่ ข-28 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน
วันที่ 18 ธันวาคม 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.40387	0.40424	0.00040	472.50	6.56
		2	0.40384	0.40424			
		3	0.40383	0.40424			
		เฉลี่ย	0.40385	0.40424			
5	1.1-2.1	1	0.40562	0.40619	0.00058	690.88	9.59
		2	0.40561	0.40619			
		3	0.40560	0.40619			
		เฉลี่ย	0.40561	0.40619			
6	0.65-1.1	1	0.40322	0.40454	0.000128	1520.73	21.10
		2	0.40323	0.40448			
		3	0.40323	0.40449			
		เฉลี่ย	0.40323	0.40450			
7	0.43-0.65	1	0.45929	0.46136	0.00209	2489.55	34.55
		2	0.45927	0.46137			
		3	0.45927	0.46137			
		เฉลี่ย	0.45928	0.46137			
F	<0.43	1	0.40088	0.40117	0.00053	627.35	8.71
		2	0.40083	0.40177			
		3	0.40083	0.40118			
		เฉลี่ย	0.40085	0.40137			

ตารางที่ ข-29 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในทีโลง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 1 พฤษภาคม 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.44969	0.45022	0.00056	680.83	18.38
		2	0.44971	0.45024			
		3	0.44968	0.45030			
		เฉลี่ย	0.44969	0.45025			
1	5.8-9.0	1	0.43664	0.43684	0.00014	166.15	4.49
		2	0.43660	0.43672			
		3	0.43660	0.43669			
		เฉลี่ย	0.43661	0.43675			
2	4.7-5.8	1	0.44366	0.44376	0.00008	101.31	2.74
		2	0.44366	0.44376			
		3	0.44365	0.44370			
		เฉลี่ย	0.44366	0.44374			
3	3.3-4.7	1	0.45858	0.45886	0.00025	303.94	8.21
		2	0.45858	0.45888			
		3	0.45858	0.45883			
		เฉลี่ย	0.45858	0.45883			
4	2.1-3.3	1	0.45381	0.45393	0.00011	133.73	3.61
		2	0.45381	0.45391			
		3	0.45381	0.45392			
		เฉลี่ย	0.45381	0.45392			
5	1.1-2.1	1	0.44164	0.44209	0.00042	514.67	13.89
		2	0.44165	0.44206			
		3	0.44165	0.44206			
		เฉลี่ย	0.44165	0.44207			
6	0.65-1.1	1	0.45445	0.45498	0.00053	648.41	17.51
		2	0.45445	0.45499			
		3	0.45445	0.45498			
		เฉลี่ย	0.45445	0.45498			

ตารางที่ ข-29 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.45323	0.45385	0.00065	790.25	21.33
		2	0.45322	0.45388			
		3	0.45321	0.45388			
		เฉลี่ย	0.45322	0.45387			
F	<0.43	1	0.42986	0.43013	0.00030	364.73	9.85
		2	0.42986	0.43016			
		3	0.42985	0.43018			
		เฉลี่ย	0.42986	0.43016			

ตารางที่ ข-30 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.40808	0.40906	0.00096	1163.60	9.50
		2	0.40807	0.40903			
		3	0.40808	0.40901			
		เฉลี่ย	0.40808	0.40903			
1	5.8-9.0	1	0.40425	0.40499	0.00072	879.80	7.18
		2	0.40426	0.40498			
		3	0.40425	0.40496			
		เฉลี่ย	0.40425	0.40498			
2	4.7-5.8	1	0.40761	0.40873	0.00112	1366.32	11.15
		2	0.40760	0.40873			
		3	0.40761	0.40873			
		เฉลี่ย	0.40761	0.40873			
3	3.3-4.7	1	0.42550	0.42660	0.00107	1301.45	10.62
		2	0.42551	0.42657			
		3	0.42549	0.42654			
		เฉลี่ย	0.42550	0.42657			

ตารางที่ ข-30 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.41144	0.41267	0.00116	1414.97	11.55
		2	0.41144	0.41258			
		3	0.41144	0.41256			
		เฉลี่ย	0.41144	0.41260			
5	1.1-2.1	1	0.41618	0.41750	0.00131	1589.31	12.97
		2	0.41618	0.41747			
		3	0.41617	0.41748			
		เฉลี่ย	0.41618	0.41748			
6	0.65-1.1	1	0.42568	0.42691	0.00121	1475.79	12.05
		2	0.42568	0.42687			
		3	0.42567	0.42689			
		เฉลี่ย	0.42568	0.42689			
7	0.43-0.65	1	0.40240	0.40352	0.00112	1366.32	11.15
		2	0.40240	0.40352			
		3	0.40240	0.40353			
		เฉลี่ย	0.40240	0.40352			
F	<0.43	1	0.41762	0.41898	0.00139	1694.72	13.83
		2	0.41762	0.41902			
		3	0.41761	0.41903			
		เฉลี่ย	0.41762	0.41901			

ตารางที่ ข-31 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในทีโลง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.42387	0.42509	0.00122	1487.34	13.00
		2	0.42386	0.42509			
		3	0.42387	0.42509			
		เฉลี่ย	0.42387	0.42509			
1	5.8-9.0	1	0.40339	0.40426	0.00087	1057.76	9.25
		2	0.40339	0.40426			
		3	0.40340	0.40427			
		เฉลี่ย	0.40339	0.40426			
2	4.7-5.8	1	0.39039	0.39138	0.00100	1211.76	10.59
		2	0.39039	0.39139			
		3	0.39039	0.39139			
		เฉลี่ย	0.39039	0.39139			
3	3.3-4.7	1	0.39954	0.40038	0.00086	1045.60	9.14
		2	0.39954	0.40037			
		3	0.39946	0.40037			
		เฉลี่ย	0.39951	0.40037			
4	2.1-3.3	1	0.39911	0.40016	0.00105	1272.55	11.12
		2	0.39913	0.40017			
		3	0.39911	0.40016			
		เฉลี่ย	0.39912	0.40016			
5	1.1-2.1	1	0.40641	0.40766	0.00123	1495.45	13.07
		2	0.40644	0.40765			
		3	0.40641	0.40764			
		เฉลี่ย	0.40642	0.40765			
6	0.65-1.1	1	0.40791	0.40912	0.00121	1467.08	12.82
		2	0.40792	0.40912			
		3	0.40791	0.40912			
		เฉลี่ย	0.40791	0.40912			

ตารางที่ ข-31 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในทีโลง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
7	0.43-0.65	1	0.42217	0.42325	0.00109	1325.23	11.58
		2	0.42217	0.42328			
		3	0.42217	0.42325			
		เฉลี่ย	0.42217	0.42326			
F	<0.43	1	0.40520	0.40610	0.00089	1078.02	9.42
		2	0.40520	0.40605			
		3	0.40521	0.40612			
		เฉลี่ย	0.40520	0.40609			

ตารางที่ ข-32 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในทีโลง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 12 พฤษภาคม 2558

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
0	9.0-10.0	1	0.45008	0.45010	0.00001	16.31	10.81
		2	0.45005	0.45006			
		3	0.45005	0.45006			
		เฉลี่ย	0.45006	0.45007			
1	5.8-9.0	1	0.45303	0.45304	0.00001	12.23	8.11
		2	0.45301	0.45302			
		3	0.45301	0.45302			
		เฉลี่ย	0.45302	0.45303			
2	4.7-5.8	1	0.43338	0.43341	0.00003	32.62	21.62
		2	0.43338	0.43342			
		3	0.43341	0.43342			
		เฉลี่ย	0.43339	0.43342			
3	3.3-4.7	1	0.44587	0.44588	0.00001	8.16	5.41
		2	0.44583	0.44584			
		3	0.44583	0.44583			
		เฉลี่ย	0.44584	0.44585			

ตารางที่ ข-32 น้ำหนักและความเข้มข้นฝุ่นละออง จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ณ ห้องปฏิบัติการ
วันที่ 12 พฤษภาคม 2558 (ต่อ)

Stage	ช่วงขนาด (ไมครอน)	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)		น้ำหนักฝุ่น (กรัม)	ความ เข้มข้นฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% ฝุ่นละออง
			ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง			
4	2.1-3.3	1	0.45162	0.45163	0.00001	8.16	5.41
		2	0.45160	0.45161			
		3	0.45163	0.45163			
		เฉลี่ย	0.45162	0.45162			
5	1.1-2.1	1	0.43606	0.43609	0.00002	28.54	18.92
		2	0.43607	0.43609			
		3	0.43605	0.43607			
		เฉลี่ย	0.43606	0.43608			
6	0.65-1.1	1	0.45490	0.45491	0.00001	16.31	10.81
		2	0.45486	0.45488			
		3	0.45487	0.45488			
		เฉลี่ย	0.45488	0.45489			
7	0.43-0.65	1	0.45324	0.45326	0.00002	24.47	16.22
		2	0.45322	0.45324			
		3	0.45325	0.45327			
		เฉลี่ย	0.45324	0.45326			
F	<0.43	1	0.45157	0.45157	0.00003	4.08	2.70
		2	0.45155	0.45156			
		3	0.45153	0.45153			
		เฉลี่ย	0.45155	0.45155			

ตารางที่ ข-33 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์แบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค

กิจกรรม	ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 atm					
		ฝุ่นละเอียดมาก ($<0.4 \mu\text{m}$)	ฝุ่นละเอียด ($0.4 < d_{ae} < 2.1 \mu\text{m}$)	ฝุ่นหยาบ ($2.1 < d_{ae} < 10 \mu\text{m}$)	PM ₁₀	PM _{2.5}
การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ						
คัดแยกขยะ	Mean \pm SD	33.99 \pm 17.86	86.73 \pm 25.42	311.17 \pm 175.85	431.90 \pm 162.46	120.73 \pm 31.61
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ	Median	34.69	82.53	289.91	391.81	126.34
	Range	14.49-62.04	57.51-120.26	153.26-646.99	279.66-741.34	74.37-161.44
	Ratio	(7.87%)	(20.08%)	(72.05%)		
วันที่ไม่มีการทำงาน		36.35	39.71	99.94	176.00	76.06
		(20.65%)	(22.56%)	(56.79%)		
โรงเรียนบริเวณใกล้เคียง		33.26	79.49	75.50	188.25	112.74
		(17.67%)	(42.23%)	(40.11%)		
การตัดโลหะด้วยความร้อน						
ตัดโลหะด้วยความร้อน	Mean \pm SD	667.57 \pm 326.14	3,901.89 \pm 1,558.95	3,550.74 \pm 3,053.94	8,120.20 \pm 4,480.08	4,569.46 \pm 1,842.38
	Median	627.35	4,701.16	1,878.08	7,206.59	5,328.51
	Range	363.41-1,011.95	2,105.40-4,899.11	1,698.54-7,075.61	4,167.35-12,986.67	2,468.82-5,911.06
	Ratio	(8.22%)	(48.05%)	(43.73%)		
ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน		80.47	438.54	2,088.10	2,607.12	519.01
		(3.09%)	(16.82%)	(80.09%)		

ตารางที่ ข-33 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองจากการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์แบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (ต่อ)

กิจกรรม	ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 atm					
		ฝุ่นละเอียดมาก (<0.4 µm)	ฝุ่นละเอียด (0.4<d _{ae} <2.1 µm)	ฝุ่นหยาบ (2.1<d _{ae} <10 µm)	PM ₁₀	PM _{2.5}
การเผาสายไฟในที่โล่ง						
การเผาสายไฟในที่โล่ง	Mean ± SD	1,045.82±665.58	3,557.50±1,391.11	4,529.03±2722.09	9,132.36±4,718.55	4,603.33±2,015.28
	Median	1,078.02	4,287.76	6,075.00	11,440.78	5,365.78
	Range	364.73-1,694.72	1,953.33-4,431.41	1,385.97-6,126.13	3,704.03-12,252.26	2,318.06-6,126.14
	Ratio	(11.51%)	(38.95%)	(49.59%)		
ไม่มีการเผาสายไฟ		4.08	69.32	77.47	150.87	73.40
		(2.70%)	(45.95%)	(51.35%)		

ภาคผนวก ค.

ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นละออง

ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 6 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	2.689	2.689	2.677	2.005	3.321	3.371	11.048	10.670	16.501
Cr	nd.	nd.	nd.	1.732	nd.	nd.	0.568	0.985	3.419
Zn	0.619	1.869	0.424	0.626	0.846	0.859	0.341	1.629	0.657
Cu	1.742	0.606	0.227	0.197	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	2.955	2.184	0.480	0.596	1.641	1.578	1.503	1.654	0.551
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	8.005	7.349	3.808	5.157	5.808	5.808	13.460	14.937	21.127

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นโลหะหนักในวันที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 7 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	1.540	10.828	4.755	4.235	11.408	10.020	7.143	8.821	8.354
Cr	0.745	0.770	1.376	1.247	2.433	1.186	0.858	4.164	1.257
Zn	0.934	1.123	0.394	0.485	1.199	1.047	1.275	1.211	0.641
Cu	0.416	0.265	0.096	0.066	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	1.880	0.959	0.601	0.449	2.183	5.199	4.669	5.452	2.191
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	5.515	13.945	7.221	6.481	17.223	17.453	13.945	19.649	12.443

ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 8 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	8.211	7.267	3.664	4.632	5.110	3.260	5.405	4.718	5.515
Cr	0.993	nd.	nd.	0.086	0.257	nd.	0.515	0.564	0.882
Zn	0.135	0.172	0.135	0.208	0.257	0.172	0.245	0.257	0.270
Cu	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	5.564	5.613	5.025	5.123	5.270	5.735	6.005	6.030	5.821
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	14.902	13.052	8.824	10.049	10.895	9.167	12.169	11.569	12.488

ตารางที่ ค-4 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 9 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	5.225	8.310	14.008	6.668	14.381	10.537	25.789	6.730	14.866
Cr	0.709	1.580	0.809	1.493	3.122	2.339	6.892	1.878	3.956
Zn	0.261	0.199	0.361	0.286	0.299	0.510	0.249	0.224	0.435
Cu	0.460	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	5.859	6.071	5.673	5.971	6.220	5.847	6.494	5.785	5.648
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	12.515	16.160	20.850	14.418	24.022	19.233	39.423	14.617	24.905

ตารางที่ ค-5 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 10 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	27.509	7.594	15.403	9.806	22.227	10.538	10.463	24.552	8.011
Cr	6.596	2.451	4.069	3.374	5.914	3.488	3.462	7.190	2.881
Zn	0.354	0.379	1.036	0.227	0.366	0.253	0.202	0.215	0.126
Cu	0.569	0.518	0.468	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	5.585	5.914	5.648	5.370	5.332	5.080	5.181	5.004	5.067
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	40.612	16.856	26.624	18.777	33.839	19.358	19.308	36.960	16.086

ตารางที่ ค-6 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 20 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	21.765	17.737	14.266	16.894	16.956	24.975	28.904	8.094	10.585
Cr	4.140	4.227	3.880	4.722	4.574	6.792	8.788	3.086	3.483
Zn	0.806	0.372	0.397	0.273	0.446	0.397	0.285	0.260	0.223
Cu	0.583	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	5.268	4.487	4.289	4.561	4.636	4.598	4.685	4.177	4.152
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	32.561	26.822	22.831	26.450	26.611	36.763	42.663	15.617	18.443

ตารางที่ ค-7 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 21 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	19.157	12.232	14.317	10.286	10.842	8.075	12.914	11.487	14.595
Cr	4.524	3.538	4.183	3.500	3.943	3.728	4.650	4.208	4.713
Zn	1.377	0.316	0.455	0.265	0.278	0.379	0.215	0.366	0.240
Cu	1.163	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	4.233	3.917	4.309	4.094	3.943	4.157	3.690	3.627	3.639
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	30.454	20.004	23.264	18.146	19.005	16.339	21.469	19.688	23.188

ตารางที่ ค-8 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ วันที่ 22 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	0.650	0.387	0.437	0.274	0.511	0.474	0.698	0.761	0.262
Cr	0.412	0.187	0.349	0.387	0.262	0.175	0.461	0.599	0.162
Zn	0.237	0.249	0.162	0.187	0.324	0.274	0.262	0.337	0.137
Cu	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	0.698	0.673	0.249	0.437	0.948	0.910	0.673	0.262	0.312
Mn	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
total	1.997	1.497	1.197	1.285	2.045	1.833	2.095	1.958	0.873

ตารางที่ ค-9 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 29 เมษายน 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	50.597	41.562	15.902	18.131	245.156	46.983	14.276	402.370	53.007
Cr	3.735	3.132	5.602	5.843	8.553	10.180	7.650	9.397	18.131
Zn	9.939	6.024	6.445	11.384	28.009	11.987	14.456	15.902	6.505
Cu	1.626	0.542	0.482	0.361	0.482	0.060	0.060	0.422	0.120
Pb	10.842	7.951	8.734	8.674	7.590	8.132	13.673	12.951	6.807
Mn	1.265	1.205	1.144	1.084	1.446	1.144	0.964	1.626	1.205
total	78.004	60.416	38.309	45.477	291.236	78.486	51.079	442.667	85.775

ตารางที่ ค-10 ความเข้มข้นโลหะหนักในวันที่ไม่มีกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 20 สิงหาคม 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	35.848	40.314	42.788	46.771	25.890	31.020	10.682	10.380	14.725
Cr	3.681	3.561	2.836	5.250	1.388	1.267	nd.	nd.	5.130
Zn	6.152	3.498	3.136	4.825	2.895	3.679	6.635	6.454	2.895
Cu	4.466	0.724	0.362	0.241	0.121	0.060	0.060	0.302	0.302
Pb	1.880	0.959	0.601	0.449	2.183	5.199	4.669	5.452	2.191
Mn	0.362	0.241	0.422	0.362	0.483	0.121	0.241	0.181	0.121
total	52.389	49.297	50.146	57.899	32.960	41.347	22.287	22.768	25.363

ตารางที่ ค-11 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 27 สิงหาคม 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	29.033	36.854	31.403	38.869	51.904	25.478	72.465	43.728	43.313
Cr	2.015	3.200	1.955	2.963	6.103	1.422	14.754	5.925	5.036
Zn	5.807	5.036	4.503	4.088	15.050	7.643	7.288	6.695	3.733
Cu	0.593	0.533	0.474	0.356	0.415	0.533	1.304	0.948	0.533
Pb	2.548	2.252	2.489	1.718	1.244	5.273	4.562	5.451	2.192
Mn	0.889	0.711	0.533	1.067	0.533	1.422	1.600	1.778	0.830
total	40.883	48.586	41.358	49.060	75.249	41.772	101.972	64.525	55.637

ตารางที่ ค-12 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน วันที่ 18 ธันวาคม 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	18.880	30.494	28.707	29.184	40.321	19.535	71.470	50.029	43.597
Cr	0.774	3.335	2.859	3.276	13.282	5.539	9.410	11.554	4.943
Zn	3.812	4.943	5.122	4.467	14.532	13.818	11.971	13.996	5.777
Cu	0.596	0.715	0.476	0.417	0.536	0.417	1.549	1.191	0.417
Pb	1.310	3.276	7.028	2.085	5.896	7.564	8.279	9.470	3.395
Mn	0.417	0.715	0.655	1.012	1.310	1.132	2.204	2.323	1.251
total	25.789	43.478	44.848	40.440	75.878	48.004	104.883	88.564	59.380

ตารางที่ ค-13 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง วันที่ 1 พฤษภาคม 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	49.239	64.740	22.613	61.700	65.499	393.909	479.620	243.761	15.134
Cr	13.009	5.289	4.438	11.854	7.720	76.472	85.468	39.573	3.825
Zn	12.097	2.432	3.222	3.161	4.924	4.073	10.395	7.659	1.768
Cu	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	1.216	0.864
Pb	14.224	17.507	13.495	14.407	6.444	12.401	13.921	19.027	6.580
Mn	2.614	1.398	1.398	1.277	1.459	1.884	2.006	1.580	0.740
total	91.183	91.365	45.166	92.398	86.046	488.739	591.410	312.817	28.912

ตารางที่ ค-14 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 1

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	71.762	68.113	59.599	62.032	45.612	44.395	19.461	57.775	18.910
Cr	207.380	152.647	150.822	173.324	164.810	167.242	153.255	195.217	132.779
Zn	14.596	6.082	2.433	9.122	10.339	22.502	1.216	20.677	5.344
Cu	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	4.561	3.597
Pb	167.850	173.932	168.459	172.107	154.471	169.067	168.459	190.352	86.327
Mn	3.162	2.007	2.068	2.250	2.129	2.676	2.858	1.946	0.863
total	464.751	402.780	383.380	418.835	377.359	405.882	345.249	470.529	247.820

ตารางที่ ค-15 ความเข้มข้นโลหะหนักจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง วันที่ 11 พฤษภาคม 2558 ครั้งที่ 2

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	355.017	367.783	384.804	429.181	409.120	418.847	178.724	368.998	36.601
Cr	213.375	128.268	165.958	188.451	165.350	148.329	170.821	197.569	132.011
Zn	20.669	18.237	16.413	21.277	21.885	12.158	10.942	6.687	1.234
Cu	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	3.343	2.159
Pb	134.955	124.013	139.818	145.897	133.131	134.955	134.955	105.776	71.146
Mn	2.675	1.885	1.885	2.006	2.128	2.371	1.702	1.581	0.905
total	726.690	640.185	708.878	786.812	731.614	716.659	497.145	683.954	244.055

ตารางที่ ค-16 ความเข้มข้นโลหะหนักในวันที่ไม่มีกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง วันที่ 12 พฤษภาคม 2558

โลหะหนัก	ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
Fe	9.401	2.452	6.131	10.218	13.080	2.861	3.270	1.226	0.817
Cr	1.635	0.817	1.635	1.226	2.452	3.270	2.044	1.226	1.226
Zn	2.044	1.226	0.817	1.226	0.817	nd.	nd.	nd.	nd.
Cu	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
Pb	6.131	3.270	10.218	2.861	2.452	1.635	2.044	12.671	0.817
Mn	0.204	0.123	0.163	0.082	0.245	0.245	0.286	0.327	0.082
total	19.415	7.889	18.966	15.614	19.047	8.011	7.643	15.450	2.943

ตารางที่ ค-17 ความเข้มข้นโลหะหนักแบ่งตามขนาดอนุภาคจากกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ

โลหะหนัก	ขนาดอนุภาค	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
		วันที่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ			วันที่ไม่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	โรงเรียนบริเวณใกล้เคียง
		Mean \pm SD	Median	Range		
Fe	ฝุ่นละเอียดมาก	11.68 \pm 4.35	12.59	5.52-6.50	8.35	0.26
	ฝุ่นละเอียด	36.92 \pm 17.05	37.77	13.38-61.97	25.98	1.93
	ฝุ่นหยาบ	54.64 \pm 29.72	57.71	13.38-87.62	32.77	2.26
	total	103.24 \pm 44.39			67.10	4.45
Cr	ฝุ่นละเอียดมาก	3.22 \pm 1.30	3.45	1.34-22.40	1.26	0.16
	ฝุ่นละเอียด	9.86 \pm 7.09	11.85	1.08-18.67	6.21	1.24
	ฝุ่นหยาบ	12.40 \pm 9.95	13.70	1.34-22.40	6.57	1.60
	total	25.48 \pm 17.38			14.04	2.99
Zn	ฝุ่นละเอียดมาก	0.33 \pm 0.19	0.26	0.13-0.66	1.26	0.16
	ฝุ่นละเอียด	1.18 \pm 0.82	0.95	0.67-2.83	3.53	0.87
	ฝุ่นหยาบ	2.34 \pm 1.20	2.33	0.91-4.38	4.13	1.16
	total	3.84 \pm 2.09			8.31	2.17
Cu	ฝุ่นละเอียดมาก	-	-	-	-	-
	ฝุ่นละเอียด	-	-	-	-	-
	ฝุ่นหยาบ	1.31 \pm 0.93	1.163	0.46-2.77	0.84	-
	total	1.31 \pm 0.93			0.84	-

ตารางที่ ค-17 ความเข้มข้นโลหะหนักแบ่งตามขนาดอนุภาคจากกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (ต่อ)

โลหะหนัก	ขนาดอนุภาค	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
		วันที่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ			วันที่ไม่มีการตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	โรงเรียนบริเวณใกล้เคียง
		Mean \pm SD	Median	Range		
Pb	ฝุ่นละเอียดมาก	4.15 \pm 1.95	4.610	0.55-5.82	2.19	0.31
	ฝุ่นละเอียด	13.47 \pm 4.97	14.362	4.74-18.13	15.32	1.85
	ฝุ่นหยาบ	22.64 \pm 7.97	24.917	7.86-29.79	6.07	3.01
	total	40.26 \pm 14.80			23.58	5.16
Mn	ฝุ่นละเอียดมาก	-	-	-	-	-
	ฝุ่นละเอียด	-	-	-	-	-
	ฝุ่นหยาบ	-	-	-	-	-
	total	-	-	-	-	-

ตารางที่ ค-18 ความเข้มข้นโลหะหนักแบ่งตามขนาดอนุภาคจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน

โลหะหนัก	ขนาดอนุภาค	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		วันที่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน			วันที่ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน
		Mean \pm SD	Median	Range	
Fe	ฝุ่นละเอียดมาก	46.64 \pm 5.52	43.60	43.31-53.01	14.73
	ฝุ่นละเอียด	248.78 \pm 186.07	141.67	141.04-463.63	52.08
	ฝุ่นหยาบ	235.67 \pm 119.24	188.06	147.59-371.35	191.61
	total	531.08 \pm 309.76			258.42
Cr	ฝุ่นละเอียดมาก	9.37 \pm 7.59	5.04	4.94-18.13	5.13
	ฝุ่นละเอียด	25.28 \pm 2.77	26.50	22.10-27.23	1.27
	ฝุ่นหยาบ	22.21 \pm 5.44	23.53	16.24-26.87	16.72
	total	56.86 \pm 14.52			23.11
Zn	ฝุ่นละเอียดมาก	5.34 \pm 1.44	5.78	3.73-6.51	2.90
	ฝุ่นละเอียด	34.59 \pm 11.30	39.79	21.63-42.35	16.77
	ฝุ่นหยาบ	43.05 \pm 16.26	34.49	32.88-61.80	20.51
	total	82.98 \pm 25.71			40.17
Cu	ฝุ่นละเอียดมาก	0.36 \pm 0.21	0.42	0.12-0.53	0.32
	ฝุ่นละเอียด	2.16 \pm 1.41	2.79	0.54-3.16	0.42
	ฝุ่นหยาบ	2.87 \pm 0.57	2.74	2.37-3.49	5.91
	total	5.39 \pm 1.11			6.64

ตารางที่ ค-18 ความเข้มข้นโลหะหนักแบ่งตามขนาดอนุภาคจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน (ต่อ)

โลหะหนัก	ขนาดอนุภาค	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		วันที่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน			วันที่ไม่มีการตัดโลหะด้วยความร้อน
		Mean \pm SD	Median	Range	
Pb	ฝุ่นละเอียดมาก	4.13 \pm 2.39	3.40	2.19-6.81	2.19
	ฝุ่นละเอียด	25.12 \pm 9.74	25.31	15.29-34.76	15.32
	ฝุ่นหยาบ	24.55 \pm 17.31	19.60	10.25-43.79	6.07
	total	53.79 \pm 29.20			23.58
Mn	ฝุ่นละเอียดมาก	1.10 \pm 0.23	1.21	0.83-1.25	0.12
	ฝุ่นละเอียด	4.73 \pm 0.96	4.80	3.74-5.66	0.54
	ฝุ่นหยาบ	4.66 \pm 1.30	4.11	3.73-6.14	1.87
	total	10.49 \pm 0.98			2.54

ตารางที่ ค-19 ความเข้มข้นโลหะหนักแบ่งตามขนาดอนุภาคจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง

โลหะหนัก	ขนาดอนุภาค	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		วันที่มีการเผาสายไฟ			วันที่ไม่มีการเผาสายไฟ
		Mean \pm SD	Median	Range	
Fe	ฝุ่นละเอียดมาก	23.55 \pm 11.46	18.91	15.13-36.60	0.82
	ฝุ่นละเอียด	735.16 \pm 536.65	966.57	121.63-1117.29	7.36
	ฝุ่นหยาบ	838.94 \pm 958.91	307.12	263.79-1945.91	41.28
	total	1597.65 \pm 1262.82			49.46
Cr	ฝุ่นละเอียดมาก	89.54 \pm 74.23	132.01	3.83-132.78	1.23
	ฝุ่นละเอียด	411.32 \pm 181.70	515.71	201.51-516.72	6.54
	ฝุ่นหยาบ	584.23 \pm 469.36	848.98	42.31-861.40	7.77
	total	1085.08 \pm 725.27			15.53
Zn	ฝุ่นละเอียดมาก	2.78 \pm 2.24	1.77	1.23-5.34	-
	ฝุ่นละเอียด	32.10 \pm 11.31	29.79	22.13-44.40	-
	ฝุ่นหยาบ	55.63 \pm 38.04	42.57	25.84-98.48	6.13
	total	90.51 \pm 39.92			6.13
Cu	ฝุ่นละเอียดมาก	2.21 \pm 1.37	2.16	0.86-3.60	-
	ฝุ่นละเอียด	3.04 \pm 1.69	3.34	1.22-4.56	-
	ฝุ่นหยาบ	-	-	-	-
	total	5.25 \pm 3.05			-

ตารางที่ ค-19 ความเข้มข้นโลหะหนักแบ่งตามขนาดอนุภาคจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง (ต่อ)

โลหะหนัก	ขนาดอนุภาค	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		วันที่มีการเผาสายไฟ			วันที่ไม่มีการเผาสายไฟ
		Mean \pm SD	Median	Range	
Pb	ฝุ่นละเอียดมาก	54.68 \pm 42.35	71.15	6.58-86.33	0.82
	ฝุ่นละเอียด	316.30 \pm 246.69	375.69	45.35-527.88	16.35
	ฝุ่นหยาบ	526.90 \pm 406.93	677.81	66.08-836.82	24.93
	total	897.89 \pm 694.84			42.10
Mn	ฝุ่นละเอียดมาก	0.84 \pm 0.07	0.86	0.74-0.91	0.08
	ฝุ่นละเอียด	6.20 \pm 1.11	5.65	5.47-7.48	0.86
	ฝุ่นหยาบ	10.11 \pm 1.78	10.58	8.15-11.62	0.82
	total	17.15 \pm 2.80			1.76

ตารางที่ ง-1 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน

PAHs	ความเข้มข้น PAHs ในฝุ่นละออง (ng/m ³)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
NAP	14.15	15.35	11.21	12.16	11.75	11.36	11.48	17.49	11.79
ACY	3.22	2.81	2.52	2.52	2.46	2.51	2.59	3.73	3.49
ACE	24.89	18.94	12.61	10.44	17.73	10.52	9.91	16.24	8.87
FLU	8.46	12.36	7.20	6.40	nd.	3.78	6.19	6.01	6.69
PHE	63.44	52.77	22.74	29.31	38.80	9.78	13.08	37.86	18.78
ANT	10.73	9.40	7.73	5.41	9.73	3.52	2.65	3.16	3.89
FLA	324.12	305.22	36.31	162.85	249.42	4.76	5.00	4.06	4.61
PYR	313.74	128.15	16.05	16.71	24.99	5.64	5.18	5.45	4.43
BaA	20.31	34.21	nd.	nd.	nd.	nd.	9.03	11.30	8.81
CHR	141.18	155.53	17.32	34.68	93.07	143.56	4.43	10.79	3.84
BbF	0.00	31.99	24.56	23.30	160.87	22.29	23.61	36.88	20.59
BkF	170.33	326.88	343.03	203.52	397.51	635.70	393.23	428.24	1129.14

ตารางที่ ง-1 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆจากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน

PAHs	ความเข้มข้น PAHs ในฝุ่นละออง (ng/m ³)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.7-1.1	0.43-0.7	< 0.43
BaP	190.08	nd.	31.49	188.25	262.55	75.80	26.90	197.96	34.91
InP	nd.	nd.	40.83	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	7.11
DbA	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	5.74	nd.	1.61
BgP	178.11	172.93	26.00	17.61	168.60	16.94	14.21	18.43	8.41
total	1462.78	1266.55	599.61	713.18	1437.46	946.16	533.22	797.59	1276.98
% of total PAHs	16.19	14.02	6.64	7.89	15.91	10.47	5.90	8.83	14.14

ตารางที่ ง-2 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง

PAHs	ความเข้มข้น PAHs ในฝุ่นละออง (ng/m ³)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
NAP	7.16	7.47	7.45	9.94	8.60	11.22	7.33	19.57	6.98
ACY	2.51	2.84	2.43	3.97	2.43	2.68	4.54	5.92	2.68
ACE	7.77	6.72	27.14	5.61	10.44	16.41	16.13	29.59	6.71
FLU	3.61	4.61	4.81	0.00	5.21	4.47	9.76	17.93	5.47
PHE	11.11	14.43	10.13	15.73	92.74	385.14	29.91	86.09	17.51
ANT	1.97	2.81	3.64	3.62	7.92	14.82	10.70	11.36	11.82
FLA	3.24	2.67	2.36	5.18	68.57	277.64	207.03	313.24	8.97
PYR	2.28	3.08	4.00	2.55	6.13	71.40	16.06	147.22	8.71
BaA	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	16.30	176.58	38.98
CHR	nd.	nd.	3.89	8.33	10.59	65.30	39.89	164.54	23.65
BbF	nd.	49.29	nd.	nd.	14.91	nd.	nd.	174.17	71.06
BkF	213.52	291.59	239.71	181.50	371.76	211.58	192.53	270.02	430.69
BaP	nd.	nd.	nd.	44.59	72.63	0.00	263.70	211.42	77.90
InP	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.

ตารางที่ ง-2 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆจากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง (ต่อ)

PAHs	ความเข้มข้น PAHs ในฝุ่นละออง (ng/m ³)								
	9.0-10.0	5.8-9.0	4.7-5.8	3.3-4.7	2.1-3.3	1.1-2.1	0.65-1.1	0.43-0.65	< 0.43
DbA	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	86.17	37.94	nd.	nd.
BgP	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.	19.13	nd.	6.73
total	253.17	385.50	305.56	281.02	671.93	1146.82	870.96	1627.65	717.86
% of total PAHs	4.04	6.16	4.88	4.49	10.73	18.32	13.91	26.00	11.47

ตารางที่ ง-3 ความเข้มข้นของสาร PAHs ในอนุภาคฝุ่นจากการตัดโลหะด้วยความร้อน และการเผาสายไฟในที่โล่ง แบ่งตามขนาดอนุภาคฝุ่น

ขนาดอนุภาค	กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน		กิจกรรมเผาสายไฟ	
	ความเข้มข้น total PAHs (ng/m ³)	% of total PAHs	ความเข้มข้น total PAHs (ng/m ³)	% of total PAHs
ฝุ่นละเอียดมาก (<0.4 μm)	1276.98	14.14	717.86	11.47
ฝุ่นละเอียด (0.4<d _{ae} <2.1 μm)	2276.97	25.21	3645.43	58.23
ฝุ่นหยาบ (2.1<d _{ae} <9 μm)	5479.57	60.66	1897.19	30.30
total	9033.53	100.00	6260.47	100.00

ภาคผนวก จ.

ตารางแสดงความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนัก และ PAHs ในฝุ่นละออง

ตารางที่ จ-1 ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ปริมาณการรับสัมผัสโลหะหนักต่อวัน (Average Daily Dose, ADD) และค่า Hazard Quotient (HQ) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ

โลหะหนัก	ขนาดฝุ่นละออง	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ADD _{inh} (mg/kg-day)		RfD	HQ _{inh}	
			ชาย	หญิง		ชาย	หญิง
Fe	ฝุ่นละเอียดมาก	11.679	6.61E-04	7.85E-04	0.7	9.45E-04	1.12E-03
	ฝุ่นละเอียด	36.922	2.09E-03	2.48E-03		2.99E-03	3.55E-03
	ฝุ่นหยาบ	54.642	3.09E-03	3.67E-03		4.42E-03	5.25E-03
Cr	ฝุ่นละเอียดมาก	3.223	1.82E-04	2.17E-04	0.0001	1.8243	2.1667
	ฝุ่นละเอียด	9.855	5.58E-04	6.63E-04		5.5793	6.6263
	ฝุ่นหยาบ	12.402	7.02E-04	8.34E-04		7.0212	8.3388
Zn	ฝุ่นละเอียดมาก	0.325	1.84E-05	2.19E-05	0.3	6.14E-05	7.29E-05
	ฝุ่นละเอียด	1.176	6.66E-05	7.91E-05		2.22E-04	2.64E-04
	ฝุ่นหยาบ	2.341	1.33E-04	1.57E-04		4.42E-04	5.25E-04
Pb	ฝุ่นละเอียดมาก	4.146	2.35E-04	2.79E-04	0.00015	1.5649	1.8585
	ฝุ่นละเอียด	13.472	7.63E-04	9.06E-04		5.0843	6.0384
	ฝุ่นหยาบ	22.638	1.28E-03	1.52E-03		8.5440	10.1473
Cu	ฝุ่นละเอียดมาก	-	-	-	0.0402	-	-
	ฝุ่นละเอียด	-	-	-		-	-
	ฝุ่นหยาบ	1.306	7.40E-05	8.78E-05		1.84E-03	2.19E-03
Mn	ฝุ่นละเอียดมาก	-	-	-	0.0003	-	-
	ฝุ่นละเอียด	-	-	-		-	-
	ฝุ่นหยาบ	-	-	-		-	-

หมายเหตุ : RfD สำหรับ Cr, Pb, และ Mn อ้างอิงจาก U.S. EPA (2018) และ RfD สำหรับ Fe, Zn และ Cu อ้างอิงจาก Singh et al. (2017)

ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ปริมาณการรับสัมผัสโลหะหนักต่อวัน (Average Daily Dose, ADD) และค่า Hazard Quotient (HQ) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน

โลหะหนัก	ขนาดฝุ่นละออง	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ADD _{inh} (mg/kg-day)		RfD	HQ _{inh}	
			ชาย	หญิง		ชาย	หญิง
Fe	ฝุ่นละเอียดมาก	46.639	3.13E-05	3.72E-05	0.7	4.48E-05	5.32E-05
	ฝุ่นละเอียด	248.778	1.67E-04	1.99E-04		2.39E-04	2.84E-04
	ฝุ่นหยาบ	235.666	1.58E-04	1.88E-04		2.26E-04	2.69E-04
Cr	ฝุ่นละเอียดมาก	9.370	6.30E-06	7.48E-06	0.0001	6.30E-02	7.48E-02
	ฝุ่นละเอียด	25.277	1.70E-05	2.02E-05		1.70E-01	2.02E-01
	ฝุ่นหยาบ	22.208	1.49E-05	1.77E-05		1.49E-01	1.77E-01
Zn	ฝุ่นละเอียดมาก	5.338	3.59E-06	4.26E-06	0.3	1.20E-05	1.42E-05
	ฝุ่นละเอียด	34.586	2.32E-05	2.76E-05		7.75E-05	9.20E-05
	ฝุ่นหยาบ	43.054	2.89E-05	3.44E-05		9.65E-05	1.15E-04
Pb	ฝุ่นละเอียดมาก	4.131	2.78E-06	3.30E-06	0.00015	1.85E-02	2.20E-02
	ฝุ่นละเอียด	25.118	1.69E-05	2.01E-05		1.13E-01	1.34E-01
	ฝุ่นหยาบ	24.545	1.65E-05	1.96E-05		1.10E-01	1.31E-01
Cu	ฝุ่นละเอียดมาก	0.357	2.40E-07	2.85E-07	0.0402	5.97E-06	7.09E-06
	ฝุ่นละเอียด	2.161	1.45E-06	1.73E-06		3.61E-05	4.29E-05
	ฝุ่นหยาบ	2.868	1.93E-06	2.29E-06		4.79E-05	5.69E-05
Mn	ฝุ่นละเอียดมาก	0.0047	3.13E-06	3.72E-06	0.0003	1.04E-02	1.24E-02
	ฝุ่นละเอียด	0.0047	3.18E-06	3.78E-06		1.06E-02	1.26E-02
	ฝุ่นหยาบ	0.0047	3.13E-06	3.72E-06		1.04E-02	1.24E-02

หมายเหตุ : RfD สำหรับ Cr, Pb, และ Mn อ้างอิงจาก U.S. EPA (2018) และ RfD สำหรับ Fe, Zn และ Cu อ้างอิงจาก Singh et al. (2017)

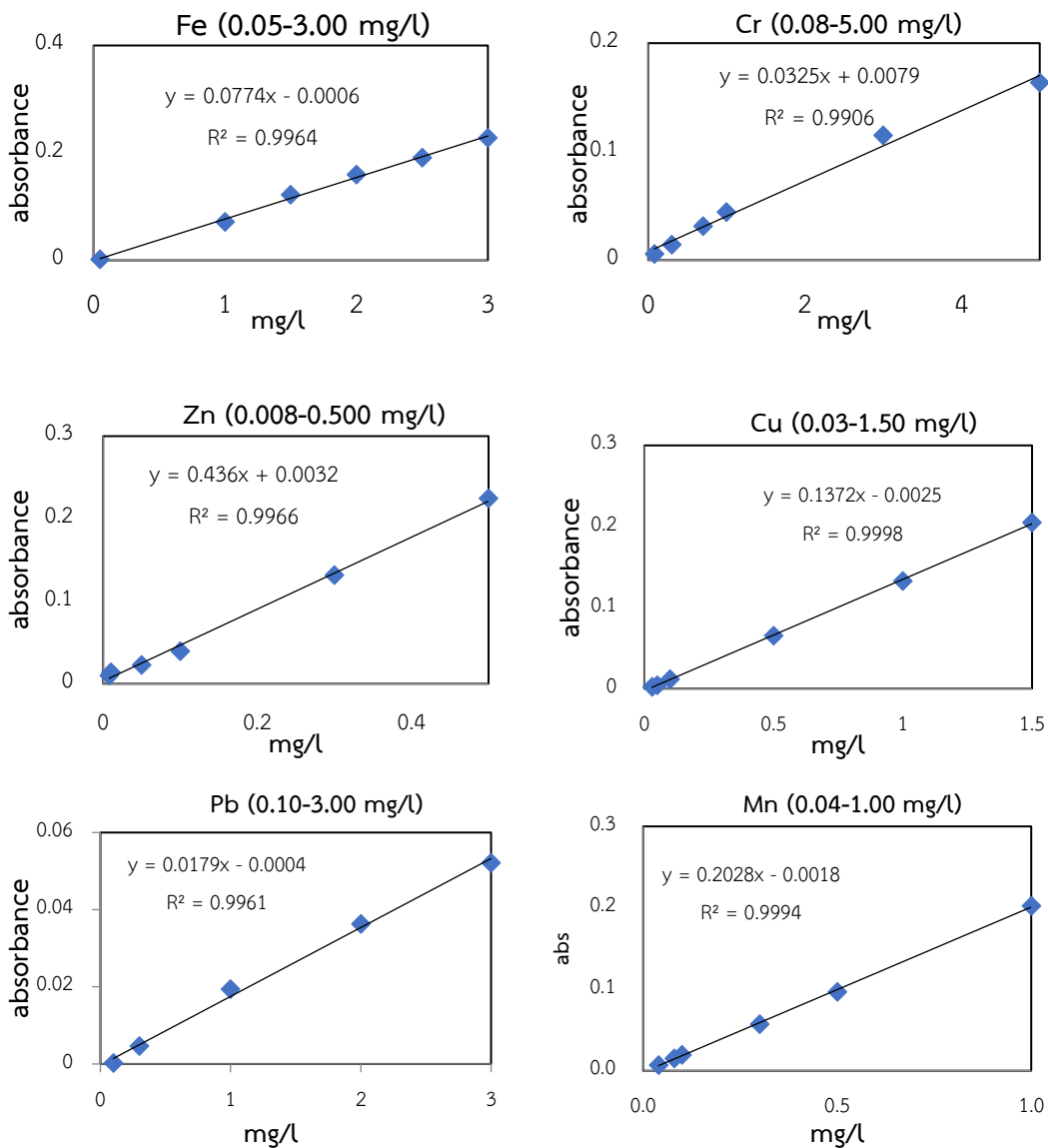
ตารางที่ จ-3 ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง ปริมาณการรับสัมผัสโลหะหนักต่อวัน (Average Daily Dose, ADD) และค่า Hazard Quotient (HQ) จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง

โลหะหนัก	ขนาดฝุ่นละออง	ความเข้มข้นโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ADD _{inh} (mg/kg-day)		RfD	HQ _{inh}	
			ชาย	หญิง		ชาย	หญิง
Fe	ฝุ่นละเอียดมาก	838.938	5.64E-04	6.70E-04	0.7	8.06E-04	9.57E-04
	ฝุ่นละเอียด	735.163	4.94E-04	5.87E-04		7.06E-04	8.38E-04
	ฝุ่นหยาบ	838.938	5.64E-04	6.70E-04		8.06E-04	9.57E-04
Cr	ฝุ่นละเอียดมาก	89.538	6.02E-05	7.15E-05	0.0001	6.02E-01	7.15E-01
	ฝุ่นละเอียด	411.316	2.76E-04	3.28E-04		2.7645	3.2832
	ฝุ่นหยาบ	584.231	3.93E-04	4.66E-04		3.9266	4.6635
Zn	ฝุ่นละเอียดมาก	2.782	1.87E-06	2.22E-06	0.3	6.23E-06	7.40E-06
	ฝุ่นละเอียด	32.103	2.16E-05	2.56E-05		7.19E-05	8.54E-05
	ฝุ่นหยาบ	55.629	3.74E-05	4.44E-05		1.25E-04	1.48E-04
Pb	ฝุ่นละเอียดมาก	54.684	3.68E-05	4.37E-05	0.00015	2.45E-01	2.91E-01
	ฝุ่นละเอียด	316.304	2.13E-04	2.52E-04		1.4173	1.6832
	ฝุ่นหยาบ	526.904	3.54E-04	4.21E-04		2.3609	2.8039
Cu	ฝุ่นละเอียดมาก	2.207	1.48E-06	1.76E-06	0.0402	3.69E-05	4.38E-05
	ฝุ่นละเอียด	3.040	2.04E-06	2.43E-06		5.08E-05	6.04E-05
	ฝุ่นหยาบ	-	-	-		-	-
Mn	ฝุ่นละเอียดมาก	0.836	5.62E-07	6.67E-07	0.0003	1.87E-03	2.22E-03
	ฝุ่นละเอียด	6.202	4.17E-06	4.95E-06		1.39E-02	1.65E-02
	ฝุ่นหยาบ	10.113	6.80E-06	8.07E-06		2.27E-02	2.69E-02

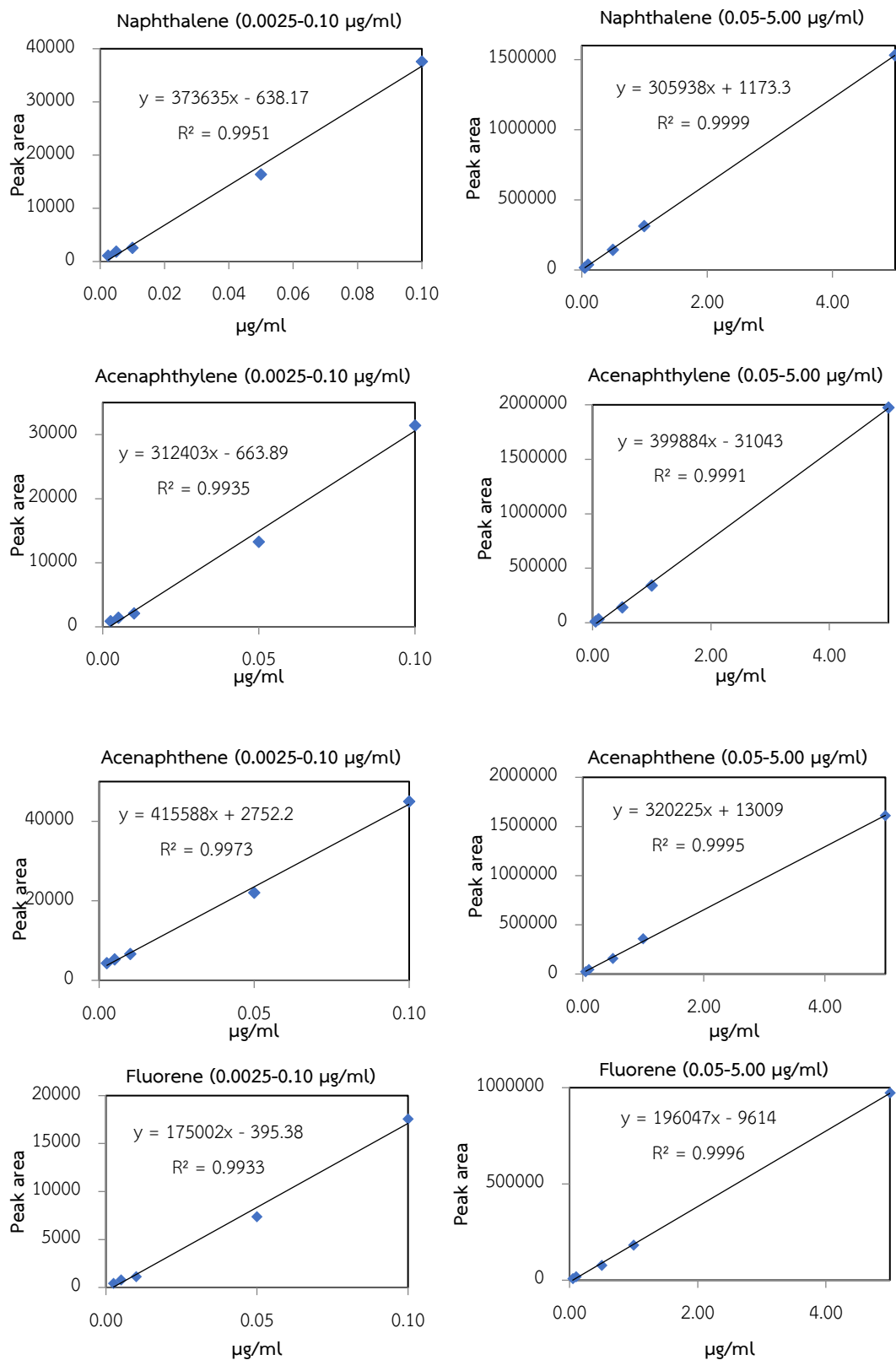
หมายเหตุ : RfD สำหรับ Cr, Pb, และ Mn อ้างอิงจาก U.S. EPA (2018) และ RfD สำหรับ Fe, Zn และ Cu อ้างอิงจาก Singh et al. (2017)

ภาคผนวก ฉ.

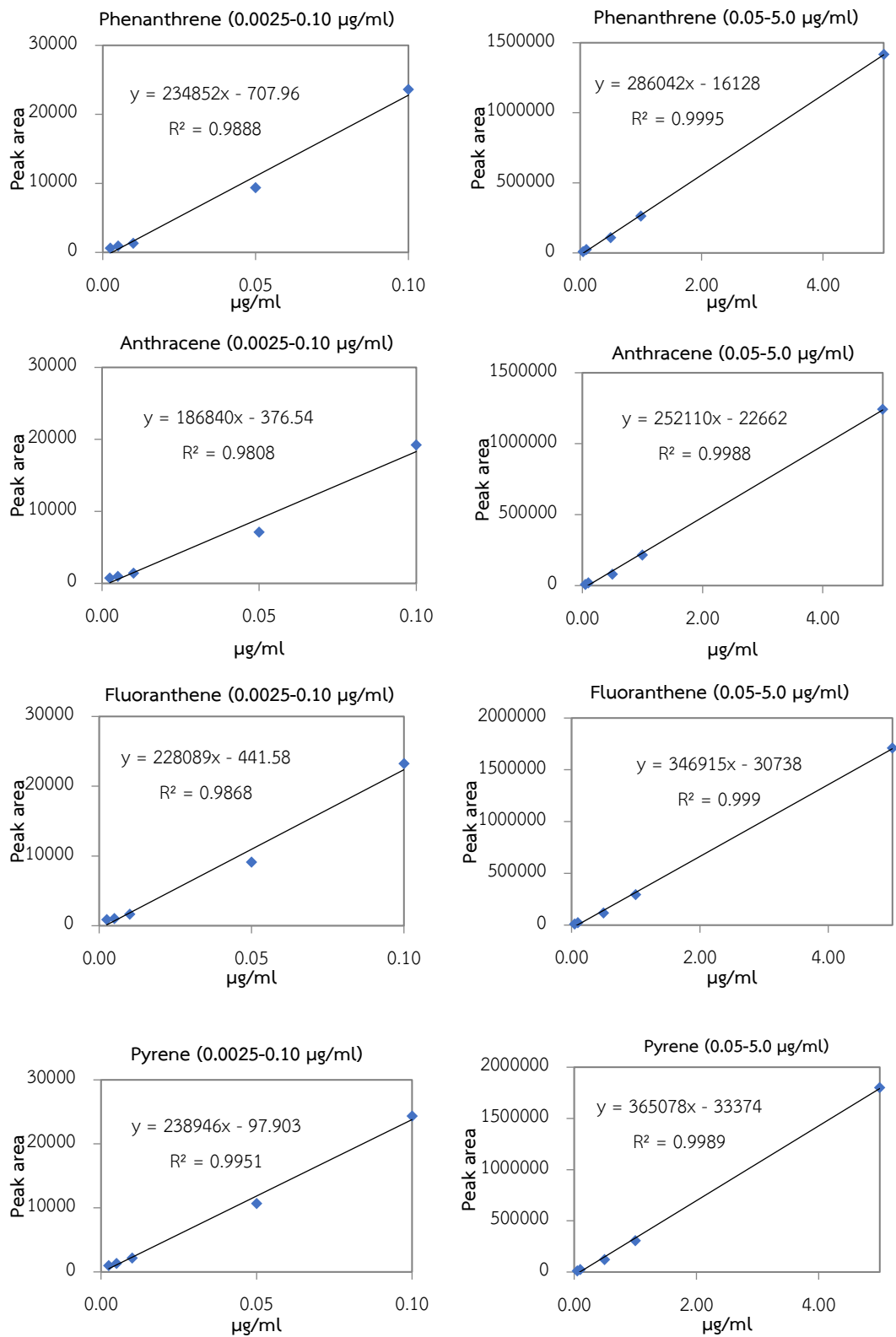
กราฟมาตรฐานและค่าคืนกลับของโลหะหนัก และ PAHs



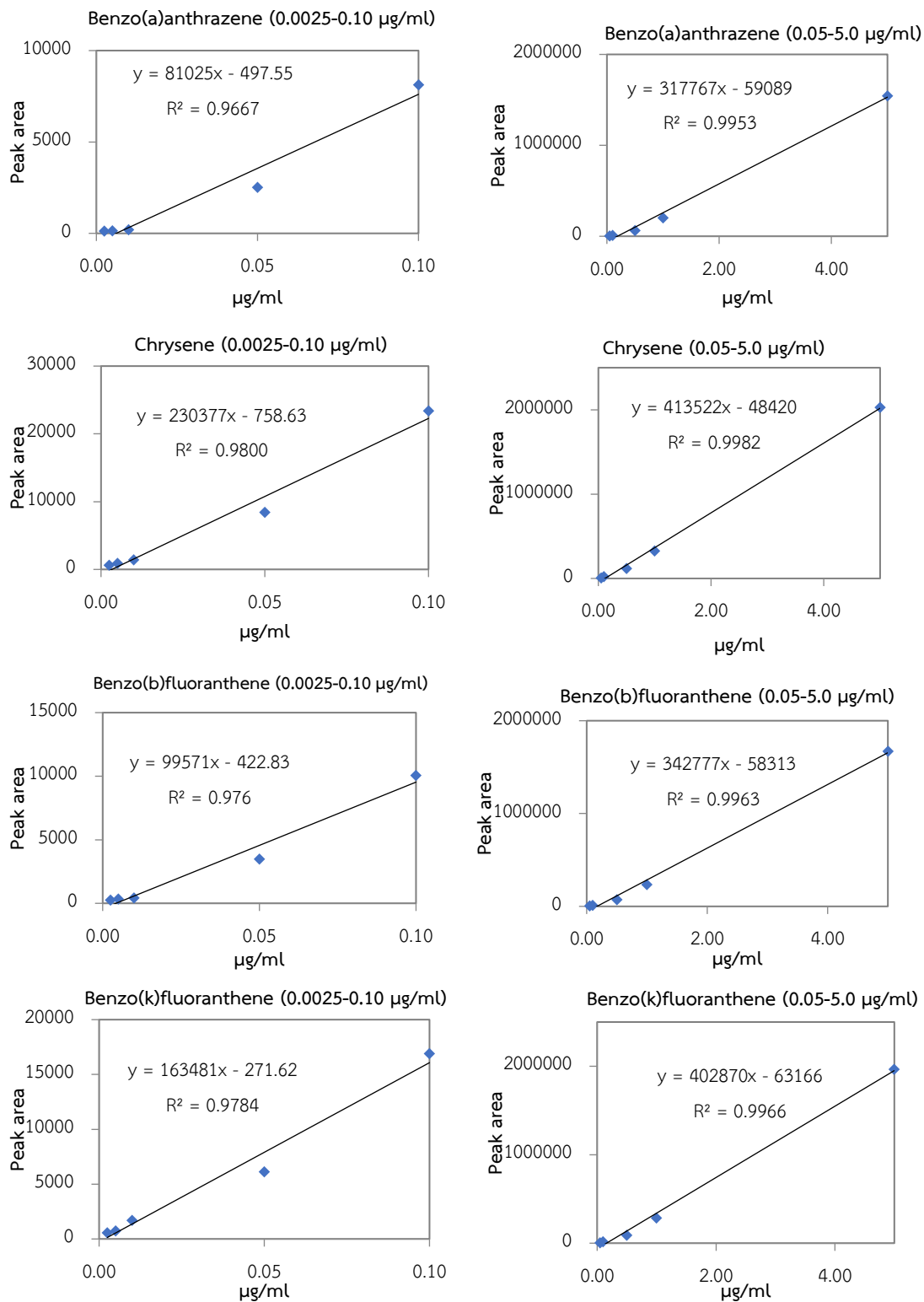
รูปที่ ฉ-1 กราฟมาตรฐานโลหะหนัก Fe Cr Zn Pb Cu Mn



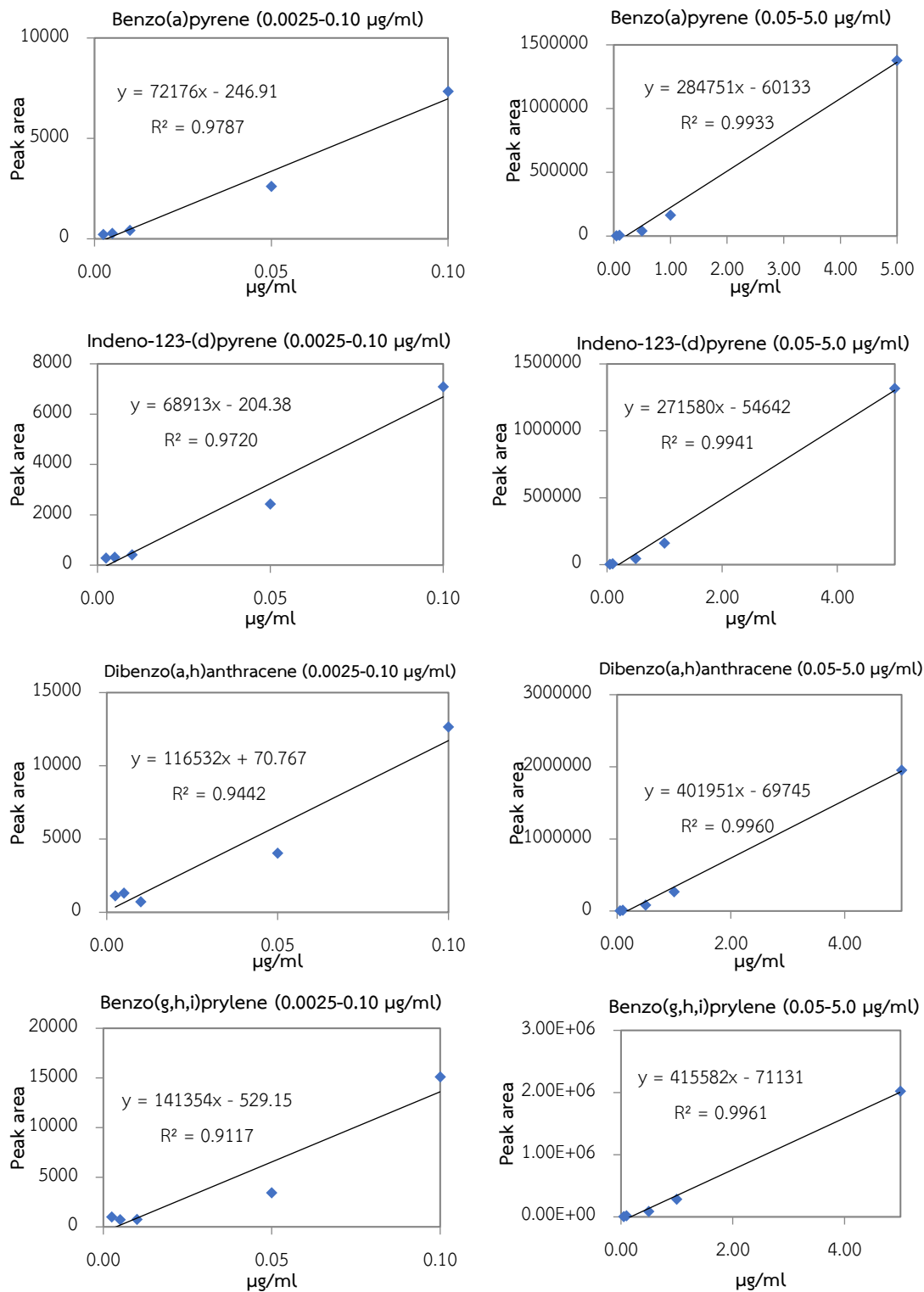
รูปที่ ๑-2 กราฟมาตรฐาน Naphthalene Acenaphthylene Acenaphthene และ Fluorene



รูปที่ ๓-3 กราฟมาตรฐาน Phenanthrene Anthracene Fluoranthene และ Pyrene



รูปที่ ๑-4 กราฟมาตรฐาน Benzo(a)anthrazene Chrysene Benzo(b)fluoranthene และ Benzo(k)fluoranthene



รูปที่ ๑-4 กราฟมาตรฐาน Benzo(a)pyrene Indeno-123-(d)pyrene Dibenzo(a,h)anthracene และ Benzo(g,h,i)pyrene

ตารางที่ ฉ-1 ค่าคืนกลับของสารมาตรฐานโลหะหนัก

โลหะหนัก	stock	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3	% recovery
Fe	2.106	2.090	2.061	1.987	97.16±2.53
Cr	3.120	3.068	3.046	3.071	98.13±0.43
Zn	0.521	0.510	0.510	0.509	97.78±0.11
Cu	2.104	2.016	1.987	2.064	96.13±1.85
Pb	1.523	1.436	1.503	1.425	95.48±2.78
Mn	1.591	1.583	1.528	1.571	98.10±1.84

ตารางที่ ฉ-2 ค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน PAHs

PAHs	stock	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3	% recovery
NAP	0.2313	0.2252	0.2252	0.2250	97±0.20
ACY	0.2850	0.2840	0.2824	0.2849	98±0.74
ACE	0.1975	0.1946	0.1943	0.1942	95±0.94
FLU	0.0258	0.0254	0.0253	0.0254	96±0.82
PHE	0.1958	0.1945	0.1959	0.1953	96±0.13
ANT	0.2142	0.2089	0.2106	0.2081	96±0.43
FLA	0.1354	0.1309	0.1330	0.1331	95±0.30
PYR	0.1834	0.1822	0.1808	0.1818	97±0.60
BaA	0.3467	0.3424	0.3427	0.3425	97±0.12
CHR	0.3024	0.2937	0.2932	0.2931	95±0.73
BbF	0.2877	0.2791	0.2814	0.2818	96±0.46
BkF	0.3713	0.3591	0.3593	0.3618	96±0.31
BaP	0.2001	0.1971	0.1997	0.1993	96±0.14
InP	0.1475	0.1419	0.1423	0.1427	94±0.89
DbA	0.2077	0.2066	0.2071	0.2065	97±0.68
BgP	0.1378	0.1366	0.1353	0.1357	96±0.42

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ทางสถิติ

Fisher Pairwise Comparisons: size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

size	N	Mean	Grouping
1	6	311.175	A
2	6	86.733	B
3	6	33.992	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
2 - 1	-224.4	59.5	(-351.3, -97.6)	-3.77	0.002
3 - 1	-277.2	59.5	(-404.1, -150.3)	-4.66	0.000
3 - 2	-52.7	59.5	(-179.6, 74.1)	-0.89	0.390

Simultaneous confidence level = 88.31%

รูปที่ ข-1 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Pairwise Comparisons: size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

size	N	Mean	Grouping
2	3	3901.89	A
1	3	3550.74	A
3	3	667.57	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
2 - 1	351	1624	(-3622, 4324)	0.22	0.836
3 - 1	-2883	1624	(-6856, 1090)	-1.78	0.126
3 - 2	-3234	1624	(-7207, 739)	-1.99	0.093

Simultaneous confidence level = 89.08%

รูปที่ ข-2 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Pairwise Comparisons: size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

size	N	Mean	Grouping
1	3	4529.04	A
2	3	3557.50	A
3	3	1045.82	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
2 - 1	-972	1475	(-4580, 2637)	-0.66	0.535
3 - 1	-3483	1475	(-7092, 126)	-2.36	0.056
3 - 2	-2512	1475	(-6120, 1097)	-1.70	0.139

Simultaneous confidence level = 89.08%

รูปที่ ข-3 การวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Pairwise Comparisons: Activity*Size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Activity*Size	N	Mean	Grouping
3 3	3	4529.03	A
2 2	3	3901.89	A
3 2	3	3557.50	A
2 3	3	3550.74	A
3 1	3	1045.82	B
2 1	3	667.57	B
1 3	6	311.17	B
1 2	6	86.73	B
1 1	6	33.99	B

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ ข-4 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (Activity 1) กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน (Activity 2) และกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง (Activity 3) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 3) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 1) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Pairwise Comparisons: Activity*Size

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Activity*Size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(1 2) - (1 1)	53	733	(-1450, 1556)	0.07	0.943
(1 3) - (1 1)	277	733	(-1226, 1780)	0.38	0.708
(2 1) - (1 1)	634	897	(-1207, 2474)	0.71	0.486
(2 2) - (1 1)	3868	897	(2027, 5709)	4.31	0.000
(2 3) - (1 1)	3517	897	(1676, 5358)	3.92	0.001
(3 1) - (1 1)	1012	897	(-829, 2853)	1.13	0.269
(3 2) - (1 1)	3524	897	(1683, 5364)	3.93	0.001
(3 3) - (1 1)	4495	897	(2654, 6336)	5.01	0.000
(1 3) - (1 2)	224	733	(-1279, 1727)	0.31	0.762
(2 1) - (1 2)	581	897	(-1260, 2422)	0.65	0.523
(2 2) - (1 2)	3815	897	(1974, 5656)	4.25	0.000
(2 3) - (1 2)	3464	897	(1623, 5305)	3.86	0.001
(3 1) - (1 2)	959	897	(-882, 2800)	1.07	0.295
(3 2) - (1 2)	3471	897	(1630, 5312)	3.87	0.001
(3 3) - (1 2)	4442	897	(2602, 6283)	4.95	0.000
(2 1) - (1 3)	356	897	(-1484, 2197)	0.40	0.694
(2 2) - (1 3)	3591	897	(1750, 5431)	4.00	0.000
(2 3) - (1 3)	3240	897	(1399, 5080)	3.61	0.001
(3 1) - (1 3)	735	897	(-1106, 2575)	0.82	0.420
(3 2) - (1 3)	3246	897	(1406, 5087)	3.62	0.001
(3 3) - (1 3)	4218	897	(2377, 6059)	4.70	0.000
(2 2) - (2 1)	3234	1036	(1109, 5360)	3.12	0.004
(2 3) - (2 1)	2883	1036	(758, 5009)	2.78	0.010
(3 1) - (2 1)	378	1036	(-1747, 2504)	0.37	0.718
(3 2) - (2 1)	2890	1036	(764, 5015)	2.79	0.010
(3 3) - (2 1)	3861	1036	(1736, 5987)	3.73	0.001
(2 3) - (2 2)	-351	1036	(-2477, 1774)	-0.34	0.737
(3 1) - (2 2)	-2856	1036	(-4982, -731)	-2.76	0.010
(3 2) - (2 2)	-344	1036	(-2470, 1781)	-0.33	0.742
(3 3) - (2 2)	627	1036	(-1498, 2753)	0.61	0.550
(3 1) - (2 3)	-2505	1036	(-4630, -379)	-2.42	0.023
(3 2) - (2 3)	7	1036	(-2119, 2132)	0.01	0.995
(3 3) - (2 3)	978	1036	(-1147, 3104)	0.94	0.353
(3 2) - (3 1)	2512	1036	(386, 4637)	2.42	0.022
(3 3) - (3 1)	3483	1036	(1358, 5609)	3.36	0.002
(3 3) - (3 2)	972	1036	(-1154, 3097)	0.94	0.357

Simultaneous confidence level = 47.64%

รูปที่ ข-4 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (Activity 1) กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน (Activity 2) และกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง (Activity 3) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 3) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 1) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Pairwise Comparisons: metal*size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

metal*size	N	Mean	Grouping
1 1	6	54.6416	A
1 2	6	36.9217	B
5 1	6	22.6384	C
5 2	6	13.4715	C D
2 1	6	12.4024	C D E
1 3	6	11.6788	C D E F
2 2	6	9.8555	D E F G
5 3	6	4.1464	D E F G
2 3	6	3.2225	D E F G
3 1	6	2.3407	D E F G
3 2	6	1.1762	E F G
4 1	6	1.0887	F G
3 3	6	0.3252	G
4 3	6	0.0000	G
4 2	6	0.0000	G

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ ข-5 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4) และ Pb (Metal 5) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(1 2) - (1 1)	-17.72	5.65	(-28.99, -6.45)	-3.13	0.002
(1 3) - (1 1)	-42.96	5.65	(-54.23, -31.70)	-7.60	0.000
(2 1) - (1 1)	-42.24	5.65	(-53.50, -30.97)	-7.47	0.000
(2 2) - (1 1)	-44.79	5.65	(-56.05, -33.52)	-7.92	0.000
(2 3) - (1 1)	-51.42	5.65	(-62.68, -40.15)	-9.09	0.000
(3 1) - (1 1)	-52.30	5.65	(-63.57, -41.04)	-9.25	0.000
(3 2) - (1 1)	-53.47	5.65	(-64.73, -42.20)	-9.45	0.000
(3 3) - (1 1)	-54.32	5.65	(-65.58, -43.05)	-9.61	0.000
(4 1) - (1 1)	-53.55	5.65	(-64.82, -42.29)	-9.47	0.000
(4 2) - (1 1)	-54.64	5.65	(-65.91, -43.38)	-9.66	0.000
(4 3) - (1 1)	-54.64	5.65	(-65.91, -43.38)	-9.66	0.000
(5 1) - (1 1)	-32.00	5.65	(-43.27, -20.74)	-5.66	0.000
(5 2) - (1 1)	-41.17	5.65	(-52.44, -29.90)	-7.28	0.000
(5 3) - (1 1)	-50.50	5.65	(-61.76, -39.23)	-8.93	0.000
(1 3) - (1 2)	-25.24	5.65	(-36.51, -13.98)	-4.46	0.000
(2 1) - (1 2)	-24.52	5.65	(-35.78, -13.25)	-4.34	0.000
(2 2) - (1 2)	-27.07	5.65	(-38.33, -15.80)	-4.79	0.000
(2 3) - (1 2)	-33.70	5.65	(-44.96, -22.43)	-5.96	0.000
(3 1) - (1 2)	-34.58	5.65	(-45.85, -23.32)	-6.12	0.000
(3 2) - (1 2)	-35.75	5.65	(-47.01, -24.48)	-6.32	0.000
(3 3) - (1 2)	-36.60	5.65	(-47.86, -25.33)	-6.47	0.000
(4 1) - (1 2)	-35.83	5.65	(-47.10, -24.57)	-6.34	0.000
(4 2) - (1 2)	-36.92	5.65	(-48.19, -25.66)	-6.53	0.000
(4 3) - (1 2)	-36.92	5.65	(-48.19, -25.66)	-6.53	0.000

รูปที่ ข-5 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4) และ Pb (Metal 5) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยมือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(5 1) - (1 2)	-14.28	5.65	(-25.55, -3.02)	-2.53	0.014
(5 2) - (1 2)	-23.45	5.65	(-34.72, -12.18)	-4.15	0.000
(5 3) - (1 2)	-32.78	5.65	(-44.04, -21.51)	-5.80	0.000
(2 1) - (1 3)	0.72	5.65	(-10.54, 11.99)	0.13	0.899
(2 2) - (1 3)	-1.82	5.65	(-13.09, 9.44)	-0.32	0.748
(2 3) - (1 3)	-8.46	5.65	(-19.72, 2.81)	-1.50	0.139
(3 1) - (1 3)	-9.34	5.65	(-20.60, 1.93)	-1.65	0.103
(3 2) - (1 3)	-10.50	5.65	(-21.77, 0.76)	-1.86	0.067
(3 3) - (1 3)	-11.35	5.65	(-22.62, -0.09)	-2.01	0.048
(4 1) - (1 3)	-10.59	5.65	(-21.86, 0.68)	-1.87	0.065
(4 2) - (1 3)	-11.68	5.65	(-22.94, -0.41)	-2.07	0.042
(4 3) - (1 3)	-11.68	5.65	(-22.94, -0.41)	-2.07	0.042
(5 1) - (1 3)	10.96	5.65	(-0.31, 22.22)	1.94	0.056
(5 2) - (1 3)	1.79	5.65	(-9.47, 13.06)	0.32	0.752
(5 3) - (1 3)	-7.53	5.65	(-18.80, 3.73)	-1.33	0.187
(2 2) - (2 1)	-2.55	5.65	(-13.81, 8.72)	-0.45	0.654
(2 3) - (2 1)	-9.18	5.65	(-20.45, 2.09)	-1.62	0.109
(3 1) - (2 1)	-10.06	5.65	(-21.33, 1.20)	-1.78	0.079
(3 2) - (2 1)	-11.23	5.65	(-22.49, 0.04)	-1.99	0.051
(3 3) - (2 1)	-12.08	5.65	(-23.34, -0.81)	-2.14	0.036
(4 1) - (2 1)	-11.31	5.65	(-22.58, -0.05)	-2.00	0.049
(4 2) - (2 1)	-12.40	5.65	(-23.67, -1.14)	-2.19	0.031
(4 3) - (2 1)	-12.40	5.65	(-23.67, -1.14)	-2.19	0.031
(5 1) - (2 1)	10.24	5.65	(-1.03, 21.50)	1.81	0.074
(5 2) - (2 1)	1.07	5.65	(-10.20, 12.33)	0.19	0.851
(5 3) - (2 1)	-8.26	5.65	(-19.52, 3.01)	-1.46	0.148
(2 3) - (2 2)	-6.63	5.65	(-17.90, 4.63)	-1.17	0.245

รูปที่ ข-5 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4) และ Pb (Metal 5) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยมือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(3 1) - (2 2)	-7.51	5.65	(-18.78, 3.75)	-1.33	0.188
(3 2) - (2 2)	-8.68	5.65	(-19.94, 2.59)	-1.53	0.129
(3 3) - (2 2)	-9.53	5.65	(-20.80, 1.73)	-1.69	0.096
(4 1) - (2 2)	-8.77	5.65	(-20.03, 2.50)	-1.55	0.125
(4 2) - (2 2)	-9.86	5.65	(-21.12, 1.41)	-1.74	0.085
(4 3) - (2 2)	-9.86	5.65	(-21.12, 1.41)	-1.74	0.085
(5 1) - (2 2)	12.78	5.65	(1.52, 24.05)	2.26	0.027
(5 2) - (2 2)	3.62	5.65	(-7.65, 14.88)	0.64	0.524
(5 3) - (2 2)	-5.71	5.65	(-16.97, 5.56)	-1.01	0.316
(3 1) - (2 3)	-0.88	5.65	(-12.15, 10.38)	-0.16	0.877
(3 2) - (2 3)	-2.05	5.65	(-13.31, 9.22)	-0.36	0.718
(3 3) - (2 3)	-2.90	5.65	(-14.16, 8.37)	-0.51	0.610
(4 1) - (2 3)	-2.13	5.65	(-13.40, 9.13)	-0.38	0.707
(4 2) - (2 3)	-3.22	5.65	(-14.49, 8.04)	-0.57	0.570
(4 3) - (2 3)	-3.22	5.65	(-14.49, 8.04)	-0.57	0.570
(5 1) - (2 3)	19.42	5.65	(8.15, 30.68)	3.43	0.001
(5 2) - (2 3)	10.25	5.65	(-1.02, 21.51)	1.81	0.074
(5 3) - (2 3)	0.92	5.65	(-10.34, 12.19)	0.16	0.871
(3 2) - (3 1)	-1.16	5.65	(-12.43, 10.10)	-0.21	0.837
(3 3) - (3 1)	-2.02	5.65	(-13.28, 9.25)	-0.36	0.723
(4 1) - (3 1)	-1.25	5.65	(-12.52, 10.01)	-0.22	0.825
(4 2) - (3 1)	-2.34	5.65	(-13.61, 8.92)	-0.41	0.680
(4 3) - (3 1)	-2.34	5.65	(-13.61, 8.92)	-0.41	0.680
(5 1) - (3 1)	20.30	5.65	(9.03, 31.56)	3.59	0.001
(5 2) - (3 1)	11.13	5.65	(-0.13, 22.40)	1.97	0.053
(5 3) - (3 1)	1.81	5.65	(-9.46, 13.07)	0.32	0.750
(3 3) - (3 2)	-0.85	5.65	(-12.12, 10.41)	-0.15	0.881

รูปที่ ข-5 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4) และ Pb (Metal 5) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยมือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(4 1) - (3 2)	-0.09	5.65	(-11.35, 11.18)	-0.02	0.988
(4 2) - (3 2)	-1.18	5.65	(-12.44, 10.09)	-0.21	0.836
(4 3) - (3 2)	-1.18	5.65	(-12.44, 10.09)	-0.21	0.836
(5 1) - (3 2)	21.46	5.65	(10.20, 32.73)	3.80	0.000
(5 2) - (3 2)	12.30	5.65	(1.03, 23.56)	2.17	0.033
(5 3) - (3 2)	2.97	5.65	(-8.29, 14.24)	0.53	0.601
(4 1) - (3 3)	0.76	5.65	(-10.50, 12.03)	0.14	0.893
(4 2) - (3 3)	-0.33	5.65	(-11.59, 10.94)	-0.06	0.954
(4 3) - (3 3)	-0.33	5.65	(-11.59, 10.94)	-0.06	0.954
(5 1) - (3 3)	22.31	5.65	(11.05, 33.58)	3.95	0.000
(5 2) - (3 3)	13.15	5.65	(1.88, 24.41)	2.32	0.023
(5 3) - (3 3)	3.82	5.65	(-7.44, 15.09)	0.68	0.501
(4 2) - (4 1)	-1.09	5.65	(-12.35, 10.18)	-0.19	0.848
(4 3) - (4 1)	-1.09	5.65	(-12.35, 10.18)	-0.19	0.848
(5 1) - (4 1)	21.55	5.65	(10.28, 32.81)	3.81	0.000
(5 2) - (4 1)	12.38	5.65	(1.12, 23.65)	2.19	0.032
(5 3) - (4 1)	3.06	5.65	(-8.21, 14.32)	0.54	0.590
(4 3) - (4 2)	0.00	5.65	(-11.27, 11.27)	0.00	1.000
(5 1) - (4 2)	22.64	5.65	(11.37, 33.90)	4.00	0.000
(5 2) - (4 2)	13.47	5.65	(2.21, 24.74)	2.38	0.020
(5 3) - (4 2)	4.15	5.65	(-7.12, 15.41)	0.73	0.466
(5 1) - (4 3)	22.64	5.65	(11.37, 33.90)	4.00	0.000
(5 2) - (4 3)	13.47	5.65	(2.21, 24.74)	2.38	0.020
(5 3) - (4 3)	4.15	5.65	(-7.12, 15.41)	0.73	0.466
(5 2) - (5 1)	-9.17	5.65	(-20.43, 2.10)	-1.62	0.109
(5 3) - (5 1)	-18.49	5.65	(-29.76, -7.23)	-3.27	0.002
(5 3) - (5 2)	-9.33	5.65	(-20.59, 1.94)	-1.65	0.103

Simultaneous confidence level = 20.37%

รูปที่ ข-5 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4) และ Pb (Metal 5) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยมือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Pairwise Comparisons: metal*size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

metal*size	N	Mean	Grouping
1 2	3	248.778	A
1 1	3	235.666	A
1 3	3	46.639	B
3 1	3	43.054	B
3 2	3	34.586	B
2 2	3	25.277	B
5 2	3	25.118	B
5 1	3	24.545	B
2 1	3	22.208	B
2 3	3	9.370	B
3 3	3	5.338	B
6 2	3	4.731	B
6 1	3	4.662	B
5 3	3	4.131	B
4 1	3	2.868	B
4 2	3	2.161	B
6 3	3	1.095	B
4 3	3	0.357	B

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(1 2) - (1 1)	13.1	42.9	(-74.0, 100.2)	0.31	0.762
(1 3) - (1 1)	-189.0	42.9	(-276.1, -102.0)	-4.40	0.000
(2 1) - (1 1)	-213.5	42.9	(-300.5, -126.4)	-4.97	0.000
(2 2) - (1 1)	-210.4	42.9	(-297.5, -123.3)	-4.90	0.000
(2 3) - (1 1)	-226.3	42.9	(-313.4, -139.2)	-5.27	0.000
(3 1) - (1 1)	-192.6	42.9	(-279.7, -105.5)	-4.49	0.000
(3 2) - (1 1)	-201.1	42.9	(-288.1, -114.0)	-4.68	0.000
(3 3) - (1 1)	-230.3	42.9	(-317.4, -143.3)	-5.37	0.000
(4 1) - (1 1)	-232.8	42.9	(-319.9, -145.7)	-5.42	0.000
(4 2) - (1 1)	-233.5	42.9	(-320.6, -146.4)	-5.44	0.000
(4 3) - (1 1)	-235.3	42.9	(-322.4, -148.2)	-5.48	0.000
(5 1) - (1 1)	-211.1	42.9	(-298.2, -124.1)	-4.92	0.000
(5 2) - (1 1)	-210.5	42.9	(-297.6, -123.5)	-4.90	0.000
(5 3) - (1 1)	-231.5	42.9	(-318.6, -144.5)	-5.39	0.000
(6 1) - (1 1)	-231.0	42.9	(-318.1, -143.9)	-5.38	0.000
(6 2) - (1 1)	-230.9	42.9	(-318.0, -143.9)	-5.38	0.000
(6 3) - (1 1)	-234.6	42.9	(-321.6, -147.5)	-5.46	0.000
(1 3) - (1 2)	-202.1	42.9	(-289.2, -115.1)	-4.71	0.000
(2 1) - (1 2)	-226.6	42.9	(-313.6, -139.5)	-5.28	0.000
(2 2) - (1 2)	-223.5	42.9	(-310.6, -136.4)	-5.21	0.000
(2 3) - (1 2)	-239.4	42.9	(-326.5, -152.3)	-5.58	0.000
(3 1) - (1 2)	-205.7	42.9	(-292.8, -118.7)	-4.79	0.000
(3 2) - (1 2)	-214.2	42.9	(-301.3, -127.1)	-4.99	0.000
(3 3) - (1 2)	-243.4	42.9	(-330.5, -156.4)	-5.67	0.000
(4 1) - (1 2)	-245.9	42.9	(-333.0, -158.8)	-5.73	0.000

รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(4 2) - (1 2)	-246.6	42.9	(-333.7, -159.5)	-5.74	0.000
(4 3) - (1 2)	-248.4	42.9	(-335.5, -161.4)	-5.79	0.000
(5 1) - (1 2)	-224.2	42.9	(-311.3, -137.2)	-5.22	0.000
(5 2) - (1 2)	-223.7	42.9	(-310.7, -136.6)	-5.21	0.000
(5 3) - (1 2)	-244.6	42.9	(-331.7, -157.6)	-5.70	0.000
(6 1) - (1 2)	-244.1	42.9	(-331.2, -157.0)	-5.69	0.000
(6 2) - (1 2)	-244.0	42.9	(-331.1, -157.0)	-5.68	0.000
(6 3) - (1 2)	-247.7	42.9	(-334.8, -160.6)	-5.77	0.000
(2 1) - (1 3)	-24.4	42.9	(-111.5, 62.6)	-0.57	0.573
(2 2) - (1 3)	-21.4	42.9	(-108.4, 65.7)	-0.50	0.622
(2 3) - (1 3)	-37.3	42.9	(-124.3, 49.8)	-0.87	0.391
(3 1) - (1 3)	-3.6	42.9	(-90.7, 83.5)	-0.08	0.934
(3 2) - (1 3)	-12.1	42.9	(-99.1, 75.0)	-0.28	0.781
(3 3) - (1 3)	-41.3	42.9	(-128.4, 45.8)	-0.96	0.342
(4 1) - (1 3)	-43.8	42.9	(-130.8, 43.3)	-1.02	0.315
(4 2) - (1 3)	-44.5	42.9	(-131.5, 42.6)	-1.04	0.307
(4 3) - (1 3)	-46.3	42.9	(-133.3, 40.8)	-1.08	0.288
(5 1) - (1 3)	-22.1	42.9	(-109.2, 65.0)	-0.51	0.610
(5 2) - (1 3)	-21.5	42.9	(-108.6, 65.5)	-0.50	0.619
(5 3) - (1 3)	-42.5	42.9	(-129.6, 44.6)	-0.99	0.329
(6 1) - (1 3)	-42.0	42.9	(-129.0, 45.1)	-0.98	0.335
(6 2) - (1 3)	-41.9	42.9	(-129.0, 45.2)	-0.98	0.335
(6 3) - (1 3)	-45.5	42.9	(-132.6, 41.5)	-1.06	0.296
(2 2) - (2 1)	3.1	42.9	(-84.0, 90.1)	0.07	0.943
(2 3) - (2 1)	-12.8	42.9	(-99.9, 74.2)	-0.30	0.767
(3 1) - (2 1)	20.8	42.9	(-66.2, 107.9)	0.49	0.630
(3 2) - (2 1)	12.4	42.9	(-74.7, 99.4)	0.29	0.775
(3 3) - (2 1)	-16.9	42.9	(-103.9, 70.2)	-0.39	0.697

รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(4 1) - (2 1)	-19.3	42.9	(-106.4, 67.7)	-0.45	0.655
(4 2) - (2 1)	-20.0	42.9	(-107.1, 67.0)	-0.47	0.643
(4 3) - (2 1)	-21.9	42.9	(-108.9, 65.2)	-0.51	0.614
(5 1) - (2 1)	2.3	42.9	(-84.7, 89.4)	0.05	0.957
(5 2) - (2 1)	2.9	42.9	(-84.2, 90.0)	0.07	0.946
(5 3) - (2 1)	-18.1	42.9	(-105.1, 69.0)	-0.42	0.676
(6 1) - (2 1)	-17.5	42.9	(-104.6, 69.5)	-0.41	0.685
(6 2) - (2 1)	-17.5	42.9	(-104.5, 69.6)	-0.41	0.686
(6 3) - (2 1)	-21.1	42.9	(-108.2, 66.0)	-0.49	0.626
(2 3) - (2 2)	-15.9	42.9	(-103.0, 71.2)	-0.37	0.713
(3 1) - (2 2)	17.8	42.9	(-69.3, 104.8)	0.41	0.681
(3 2) - (2 2)	9.3	42.9	(-77.8, 96.4)	0.22	0.830
(3 3) - (2 2)	-19.9	42.9	(-107.0, 67.1)	-0.46	0.645
(4 1) - (2 2)	-22.4	42.9	(-109.5, 64.7)	-0.52	0.605
(4 2) - (2 2)	-23.1	42.9	(-110.2, 64.0)	-0.54	0.594
(4 3) - (2 2)	-24.9	42.9	(-112.0, 62.1)	-0.58	0.565
(5 1) - (2 2)	-0.7	42.9	(-87.8, 86.3)	-0.02	0.986
(5 2) - (2 2)	-0.2	42.9	(-87.2, 86.9)	-0.00	0.997
(5 3) - (2 2)	-21.1	42.9	(-108.2, 65.9)	-0.49	0.625
(6 1) - (2 2)	-20.6	42.9	(-107.7, 66.5)	-0.48	0.634
(6 2) - (2 2)	-20.5	42.9	(-107.6, 66.5)	-0.48	0.635
(6 3) - (2 2)	-24.2	42.9	(-111.2, 62.9)	-0.56	0.577
(3 1) - (2 3)	33.7	42.9	(-53.4, 120.8)	0.78	0.438
(3 2) - (2 3)	25.2	42.9	(-61.9, 112.3)	0.59	0.561
(3 3) - (2 3)	-4.0	42.9	(-91.1, 83.0)	-0.09	0.926
(4 1) - (2 3)	-6.5	42.9	(-93.6, 80.6)	-0.15	0.880
(4 2) - (2 3)	-7.2	42.9	(-94.3, 79.9)	-0.17	0.868
(4 3) - (2 3)	-9.0	42.9	(-96.1, 78.1)	-0.21	0.835

รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(5 1) - (2 3)	15.2	42.9	(-71.9, 102.2)	0.35	0.726
(5 2) - (2 3)	15.7	42.9	(-71.3, 102.8)	0.37	0.716
(5 3) - (2 3)	-5.2	42.9	(-92.3, 81.8)	-0.12	0.904
(6 1) - (2 3)	-4.7	42.9	(-91.8, 82.4)	-0.11	0.913
(6 2) - (2 3)	-4.6	42.9	(-91.7, 82.4)	-0.11	0.915
(6 3) - (2 3)	-8.3	42.9	(-95.3, 78.8)	-0.19	0.848
(3 2) - (3 1)	-8.5	42.9	(-95.5, 78.6)	-0.20	0.845
(3 3) - (3 1)	-37.7	42.9	(-124.8, 49.4)	-0.88	0.385
(4 1) - (3 1)	-40.2	42.9	(-127.3, 46.9)	-0.94	0.355
(4 2) - (3 1)	-40.9	42.9	(-128.0, 46.2)	-0.95	0.347
(4 3) - (3 1)	-42.7	42.9	(-129.8, 44.4)	-0.99	0.327
(5 1) - (3 1)	-18.5	42.9	(-105.6, 68.6)	-0.43	0.669
(5 2) - (3 1)	-17.9	42.9	(-105.0, 69.1)	-0.42	0.679
(5 3) - (3 1)	-38.9	42.9	(-126.0, 48.1)	-0.91	0.371
(6 1) - (3 1)	-38.4	42.9	(-125.5, 48.7)	-0.89	0.377
(6 2) - (3 1)	-38.3	42.9	(-125.4, 48.7)	-0.89	0.378
(6 3) - (3 1)	-42.0	42.9	(-129.0, 45.1)	-0.98	0.335
(3 3) - (3 2)	-29.2	42.9	(-116.3, 57.8)	-0.68	0.500
(4 1) - (3 2)	-31.7	42.9	(-118.8, 55.3)	-0.74	0.465
(4 2) - (3 2)	-32.4	42.9	(-119.5, 54.6)	-0.76	0.455
(4 3) - (3 2)	-34.2	42.9	(-121.3, 52.8)	-0.80	0.431
(5 1) - (3 2)	-10.0	42.9	(-97.1, 77.0)	-0.23	0.816
(5 2) - (3 2)	-9.5	42.9	(-96.5, 77.6)	-0.22	0.827
(5 3) - (3 2)	-30.5	42.9	(-117.5, 56.6)	-0.71	0.483
(6 1) - (3 2)	-29.9	42.9	(-117.0, 57.1)	-0.70	0.490
(6 2) - (3 2)	-29.9	42.9	(-116.9, 57.2)	-0.70	0.491
(6 3) - (3 2)	-33.5	42.9	(-120.6, 53.6)	-0.78	0.440
(4 1) - (3 3)	-2.5	42.9	(-89.5, 84.6)	-0.06	0.954
(4 2) - (3 3)	-3.2	42.9	(-90.2, 83.9)	-0.07	0.941

รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(4 3) - (3 3)	-5.0	42.9	(-92.0, 82.1)	-0.12	0.908
(5 1) - (3 3)	19.2	42.9	(-67.9, 106.3)	0.45	0.657
(5 2) - (3 3)	19.8	42.9	(-67.3, 106.8)	0.46	0.648
(5 3) - (3 3)	-1.2	42.9	(-88.3, 85.9)	-0.03	0.978
(6 1) - (3 3)	-0.7	42.9	(-87.7, 86.4)	-0.02	0.988
(6 2) - (3 3)	-0.6	42.9	(-87.7, 86.5)	-0.01	0.989
(6 3) - (3 3)	-4.2	42.9	(-91.3, 82.8)	-0.10	0.922
(4 2) - (4 1)	-0.7	42.9	(-87.8, 86.4)	-0.02	0.987
(4 3) - (4 1)	-2.5	42.9	(-89.6, 84.6)	-0.06	0.954
(5 1) - (4 1)	21.7	42.9	(-65.4, 108.7)	0.50	0.617
(5 2) - (4 1)	22.3	42.9	(-64.8, 109.3)	0.52	0.607
(5 3) - (4 1)	1.3	42.9	(-85.8, 88.3)	0.03	0.977
(6 1) - (4 1)	1.8	42.9	(-85.3, 88.9)	0.04	0.967
(6 2) - (4 1)	1.9	42.9	(-85.2, 88.9)	0.04	0.966
(6 3) - (4 1)	-1.8	42.9	(-88.8, 85.3)	-0.04	0.967
(4 3) - (4 2)	-1.8	42.9	(-88.9, 85.3)	-0.04	0.967
(5 1) - (4 2)	22.4	42.9	(-64.7, 109.5)	0.52	0.605
(5 2) - (4 2)	23.0	42.9	(-64.1, 110.0)	0.53	0.596
(5 3) - (4 2)	2.0	42.9	(-85.1, 89.0)	0.05	0.964
(6 1) - (4 2)	2.5	42.9	(-84.6, 89.6)	0.06	0.954
(6 2) - (4 2)	2.6	42.9	(-84.5, 89.6)	0.06	0.953
(6 3) - (4 2)	-1.1	42.9	(-88.1, 86.0)	-0.02	0.980
(5 1) - (4 3)	24.2	42.9	(-62.9, 111.3)	0.56	0.577
(5 2) - (4 3)	24.8	42.9	(-62.3, 111.8)	0.58	0.568
(5 3) - (4 3)	3.8	42.9	(-83.3, 90.8)	0.09	0.930
(6 1) - (4 3)	4.3	42.9	(-82.8, 91.4)	0.10	0.921
(6 2) - (4 3)	4.4	42.9	(-82.7, 91.4)	0.10	0.919
(6 3) - (4 3)	0.7	42.9	(-86.3, 87.8)	0.02	0.986
(5 2) - (5 1)	0.6	42.9	(-86.5, 87.6)	0.01	0.989

รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(5 3) - (5 1)	-20.4	42.9	(-107.5, 66.7)	-0.48	0.637
(6 1) - (5 1)	-19.9	42.9	(-107.0, 67.2)	-0.46	0.646
(6 2) - (5 1)	-19.8	42.9	(-106.9, 67.3)	-0.46	0.647
(6 3) - (5 1)	-23.5	42.9	(-110.5, 63.6)	-0.55	0.588
(5 3) - (5 2)	-21.0	42.9	(-108.1, 66.1)	-0.49	0.628
(6 1) - (5 2)	-20.5	42.9	(-107.5, 66.6)	-0.48	0.637
(6 2) - (5 2)	-20.4	42.9	(-107.5, 66.7)	-0.47	0.638
(6 3) - (5 2)	-24.0	42.9	(-111.1, 63.0)	-0.56	0.579
(6 1) - (5 3)	0.5	42.9	(-86.5, 87.6)	0.01	0.990
(6 2) - (5 3)	0.6	42.9	(-86.5, 87.7)	0.01	0.989
(6 3) - (5 3)	-3.0	42.9	(-90.1, 84.0)	-0.07	0.944
(6 2) - (6 1)	0.1	42.9	(-87.0, 87.1)	0.00	0.999
(6 3) - (6 1)	-3.6	42.9	(-90.6, 83.5)	-0.08	0.934
(6 3) - (6 2)	-3.6	42.9	(-90.7, 83.4)	-0.08	0.933

Simultaneous confidence level = 16.32%

รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Pairwise Comparisons: metal*size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

metal*size	N	Mean	Grouping
1 1	3	838.938	A
1 2	3	735.163	A B
2 1	3	584.231	A B C
5 1	3	526.904	A B C D
2 2	3	411.316	A B C D E
5 2	3	316.304	B C D E
5 3	3	177.719	C D E
2 3	3	89.538	C D E
3 1	3	55.629	D E
3 2	3	32.103	D E
1 3	3	23.548	D E
6 1	3	10.113	E
6 2	3	6.202	E
4 2	3	3.040	E
3 3	3	2.782	E
4 3	3	2.207	E
6 3	3	0.836	E
4 1	3	0.000	E

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ ข-7 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(1 2) - (1 1)	-104	253	(-616, 409)	-0.41	0.684
(1 3) - (1 1)	-815	253	(-1328, -303)	-3.23	0.003
(2 1) - (1 1)	-255	253	(-767, 258)	-1.01	0.320
(2 2) - (1 1)	-428	253	(-940, 85)	-1.69	0.099
(2 3) - (1 1)	-749	253	(-1262, -237)	-2.97	0.005
(3 1) - (1 1)	-783	253	(-1296, -271)	-3.10	0.004
(3 2) - (1 1)	-807	253	(-1319, -294)	-3.19	0.003
(3 3) - (1 1)	-836	253	(-1349, -324)	-3.31	0.002
(4 1) - (1 1)	-839	253	(-1351, -326)	-3.32	0.002
(4 2) - (1 1)	-836	253	(-1348, -323)	-3.31	0.002
(4 3) - (1 1)	-837	253	(-1349, -324)	-3.31	0.002
(5 1) - (1 1)	-312	253	(-825, 200)	-1.23	0.225
(5 2) - (1 1)	-523	253	(-1035, -10)	-2.07	0.046
(5 3) - (1 1)	-661	253	(-1174, -149)	-2.62	0.013
(6 1) - (1 1)	-829	253	(-1341, -316)	-3.28	0.002
(6 2) - (1 1)	-833	253	(-1345, -320)	-3.30	0.002
(6 3) - (1 1)	-838	253	(-1351, -326)	-3.32	0.002
(1 3) - (1 2)	-712	253	(-1224, -199)	-2.82	0.008
(2 1) - (1 2)	-151	253	(-663, 362)	-0.60	0.554
(2 2) - (1 2)	-324	253	(-836, 189)	-1.28	0.208
(2 3) - (1 2)	-646	253	(-1158, -133)	-2.56	0.015
(3 1) - (1 2)	-680	253	(-1192, -167)	-2.69	0.011
(3 2) - (1 2)	-703	253	(-1216, -191)	-2.78	0.009
(3 3) - (1 2)	-732	253	(-1245, -220)	-2.90	0.006
(4 1) - (1 2)	-735	253	(-1248, -223)	-2.91	0.006
(4 2) - (1 2)	-732	253	(-1245, -220)	-2.90	0.006

รูปที่ ข-7 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหายาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(4 3) - (1 2)	-733	253	(-1245, -220)	-2.90	0.006
(5 1) - (1 2)	-208	253	(-721, 304)	-0.82	0.415
(5 2) - (1 2)	-419	253	(-931, 94)	-1.66	0.106
(5 3) - (1 2)	-557	253	(-1070, -45)	-2.21	0.034
(6 1) - (1 2)	-725	253	(-1238, -213)	-2.87	0.007
(6 2) - (1 2)	-729	253	(-1241, -216)	-2.88	0.007
(6 3) - (1 2)	-734	253	(-1247, -222)	-2.91	0.006
(2 1) - (1 3)	561	253	(48, 1073)	2.22	0.033
(2 2) - (1 3)	388	253	(-125, 900)	1.53	0.134
(2 3) - (1 3)	66	253	(-446, 578)	0.26	0.795
(3 1) - (1 3)	32	253	(-480, 545)	0.13	0.900
(3 2) - (1 3)	9	253	(-504, 521)	0.03	0.973
(3 3) - (1 3)	-21	253	(-533, 492)	-0.08	0.935
(4 1) - (1 3)	-24	253	(-536, 489)	-0.09	0.926
(4 2) - (1 3)	-21	253	(-533, 492)	-0.08	0.936
(4 3) - (1 3)	-21	253	(-534, 491)	-0.08	0.933
(5 1) - (1 3)	503	253	(-9, 1016)	1.99	0.054
(5 2) - (1 3)	293	253	(-220, 805)	1.16	0.254
(5 3) - (1 3)	154	253	(-358, 667)	0.61	0.546
(6 1) - (1 3)	-13	253	(-526, 499)	-0.05	0.958
(6 2) - (1 3)	-17	253	(-530, 495)	-0.07	0.946
(6 3) - (1 3)	-23	253	(-535, 490)	-0.09	0.929
(2 2) - (2 1)	-173	253	(-685, 340)	-0.68	0.498
(2 3) - (2 1)	-495	253	(-1007, 18)	-1.96	0.058
(3 1) - (2 1)	-529	253	(-1041, -16)	-2.09	0.044
(3 2) - (2 1)	-552	253	(-1065, -40)	-2.19	0.035
(3 3) - (2 1)	-581	253	(-1094, -69)	-2.30	0.027
(4 1) - (2 1)	-584	253	(-1097, -72)	-2.31	0.027
(4 2) - (2 1)	-581	253	(-1094, -69)	-2.30	0.027

รูปที่ ข-7 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในโรงโหล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(4 3) - (2 1)	-582	253	(-1094, -70)	-2.30	0.027
(5 1) - (2 1)	-57	253	(-570, 455)	-0.23	0.822
(5 2) - (2 1)	-268	253	(-780, 245)	-1.06	0.296
(5 3) - (2 1)	-407	253	(-919, 106)	-1.61	0.116
(6 1) - (2 1)	-574	253	(-1087, -62)	-2.27	0.029
(6 2) - (2 1)	-578	253	(-1090, -66)	-2.29	0.028
(6 3) - (2 1)	-583	253	(-1096, -71)	-2.31	0.027
(2 3) - (2 2)	-322	253	(-834, 191)	-1.27	0.211
(3 1) - (2 2)	-356	253	(-868, 157)	-1.41	0.168
(3 2) - (2 2)	-379	253	(-892, 133)	-1.50	0.142
(3 3) - (2 2)	-409	253	(-921, 104)	-1.62	0.115
(4 1) - (2 2)	-411	253	(-924, 101)	-1.63	0.112
(4 2) - (2 2)	-408	253	(-921, 104)	-1.62	0.115
(4 3) - (2 2)	-409	253	(-922, 103)	-1.62	0.114
(5 1) - (2 2)	116	253	(-397, 628)	0.46	0.650
(5 2) - (2 2)	-95	253	(-607, 417)	-0.38	0.709
(5 3) - (2 2)	-234	253	(-746, 279)	-0.92	0.361
(6 1) - (2 2)	-401	253	(-914, 111)	-1.59	0.121
(6 2) - (2 2)	-405	253	(-918, 107)	-1.60	0.118
(6 3) - (2 2)	-410	253	(-923, 102)	-1.62	0.113
(3 1) - (2 3)	-34	253	(-546, 479)	-0.13	0.894
(3 2) - (2 3)	-57	253	(-570, 455)	-0.23	0.821
(3 3) - (2 3)	-87	253	(-599, 426)	-0.34	0.733
(4 1) - (2 3)	-90	253	(-602, 423)	-0.35	0.725
(4 2) - (2 3)	-86	253	(-599, 426)	-0.34	0.734
(4 3) - (2 3)	-87	253	(-600, 425)	-0.35	0.732
(5 1) - (2 3)	437	253	(-75, 950)	1.73	0.092
(5 2) - (2 3)	227	253	(-286, 739)	0.90	0.375
(5 3) - (2 3)	88	253	(-424, 601)	0.35	0.729

รูปที่ ข-7 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(6 1) - (2 3)	-79	253	(-592, 433)	-0.31	0.755
(6 2) - (2 3)	-83	253	(-596, 429)	-0.33	0.743
(6 3) - (2 3)	-89	253	(-601, 424)	-0.35	0.728
(3 2) - (3 1)	-24	253	(-536, 489)	-0.09	0.926
(3 3) - (3 1)	-53	253	(-565, 460)	-0.21	0.836
(4 1) - (3 1)	-56	253	(-568, 457)	-0.22	0.827
(4 2) - (3 1)	-53	253	(-565, 460)	-0.21	0.836
(4 3) - (3 1)	-53	253	(-566, 459)	-0.21	0.834
(5 1) - (3 1)	471	253	(-41, 984)	1.87	0.070
(5 2) - (3 1)	261	253	(-252, 773)	1.03	0.309
(5 3) - (3 1)	122	253	(-390, 635)	0.48	0.632
(6 1) - (3 1)	-46	253	(-558, 467)	-0.18	0.858
(6 2) - (3 1)	-49	253	(-562, 463)	-0.20	0.846
(6 3) - (3 1)	-55	253	(-567, 458)	-0.22	0.830
(3 3) - (3 2)	-29	253	(-542, 483)	-0.12	0.908
(4 1) - (3 2)	-32	253	(-545, 480)	-0.13	0.900
(4 2) - (3 2)	-29	253	(-542, 483)	-0.12	0.909
(4 3) - (3 2)	-30	253	(-542, 483)	-0.12	0.906
(5 1) - (3 2)	495	253	(-18, 1007)	1.96	0.058
(5 2) - (3 2)	284	253	(-228, 797)	1.12	0.268
(5 3) - (3 2)	146	253	(-367, 658)	0.58	0.568
(6 1) - (3 2)	-22	253	(-534, 490)	-0.09	0.931
(6 2) - (3 2)	-26	253	(-538, 487)	-0.10	0.919
(6 3) - (3 2)	-31	253	(-544, 481)	-0.12	0.902
(4 1) - (3 3)	-3	253	(-515, 510)	-0.01	0.991
(4 2) - (3 3)	0	253	(-512, 513)	0.00	0.999
(4 3) - (3 3)	-1	253	(-513, 512)	-0.00	0.998
(5 1) - (3 3)	524	253	(12, 1037)	2.07	0.045
(5 2) - (3 3)	314	253	(-199, 826)	1.24	0.223

รูปที่ ข-7 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(5 3) - (3 3)	175	253	(-338, 687)	0.69	0.493
(6 1) - (3 3)	7	253	(-505, 520)	0.03	0.977
(6 2) - (3 3)	3	253	(-509, 516)	0.01	0.989
(6 3) - (3 3)	-2	253	(-514, 511)	-0.01	0.994
(4 2) - (4 1)	3	253	(-509, 516)	0.01	0.990
(4 3) - (4 1)	2	253	(-510, 515)	0.01	0.993
(5 1) - (4 1)	527	253	(14, 1039)	2.09	0.044
(5 2) - (4 1)	316	253	(-196, 829)	1.25	0.219
(5 3) - (4 1)	178	253	(-335, 690)	0.70	0.486
(6 1) - (4 1)	10	253	(-502, 523)	0.04	0.968
(6 2) - (4 1)	6	253	(-506, 519)	0.02	0.981
(6 3) - (4 1)	1	253	(-512, 513)	0.00	0.997
(4 3) - (4 2)	-1	253	(-513, 512)	-0.00	0.997
(5 1) - (4 2)	524	253	(11, 1036)	2.07	0.045
(5 2) - (4 2)	313	253	(-199, 826)	1.24	0.223
(5 3) - (4 2)	175	253	(-338, 687)	0.69	0.494
(6 1) - (4 2)	7	253	(-505, 520)	0.03	0.978
(6 2) - (4 2)	3	253	(-509, 516)	0.01	0.990
(6 3) - (4 2)	-2	253	(-515, 510)	-0.01	0.993
(5 1) - (4 3)	525	253	(12, 1037)	2.08	0.045
(5 2) - (4 3)	314	253	(-198, 827)	1.24	0.222
(5 3) - (4 3)	176	253	(-337, 688)	0.69	0.492
(6 1) - (4 3)	8	253	(-505, 520)	0.03	0.975
(6 2) - (4 3)	4	253	(-508, 516)	0.02	0.987
(6 3) - (4 3)	-1	253	(-514, 511)	-0.01	0.996
(5 2) - (5 1)	-211	253	(-723, 302)	-0.83	0.410
(5 3) - (5 1)	-349	253	(-862, 163)	-1.38	0.176
(6 1) - (5 1)	-517	253	(-1029, -4)	-2.05	0.048
(6 2) - (5 1)	-521	253	(-1033, -8)	-2.06	0.047

รูปที่ ข-7 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of metal*size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(6 3) - (5 1)	-526	253	(-1039, -14)	-2.08	0.045
(5 3) - (5 2)	-139	253	(-651, 374)	-0.55	0.587
(6 1) - (5 2)	-306	253	(-819, 206)	-1.21	0.234
(6 2) - (5 2)	-310	253	(-823, 202)	-1.23	0.228
(6 3) - (5 2)	-315	253	(-828, 197)	-1.25	0.220
(6 1) - (5 3)	-168	253	(-680, 345)	-0.66	0.511
(6 2) - (5 3)	-172	253	(-684, 341)	-0.68	0.502
(6 3) - (5 3)	-177	253	(-689, 336)	-0.70	0.488
(6 2) - (6 1)	-4	253	(-516, 509)	-0.02	0.988
(6 3) - (6 1)	-9	253	(-522, 503)	-0.04	0.971
(6 3) - (6 2)	-5	253	(-518, 507)	-0.02	0.983

Simultaneous confidence level = 16.32%

รูปที่ ข-7 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Fe (Metal 1), Cr (Metal 2), Zn (Metal 3), Cu (Metal 4), Pb (Metal 5) และ Mn (Metal 6) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 1) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 3) จากกิจกรรมเผาสายไฟในโรงโหล่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Pairwise Comparisons: Activity*Size

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Activity*Size	N	Mean	Grouping
3 3	3	2015.82	A
3 2	3	1504.13	A
2 2	3	340.65	B
2 3	3	333.00	B
3 1	3	173.60	B
1 3	6	93.11	B
2 1	3	66.93	B
1 2	6	61.43	B
1 1	6	19.38	B

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ ข-8 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมด (Total heavy metal) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (Activity 1) กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน (Activity 2) และกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง (Activity 3) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 3) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 1) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Activity*Size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(1 2) - (1 1)	42	261	(-493, 577)	0.16	0.873
(1 3) - (1 1)	74	261	(-461, 609)	0.28	0.779
(2 1) - (1 1)	48	319	(-608, 703)	0.15	0.883
(2 2) - (1 1)	321	319	(-334, 976)	1.01	0.323
(2 3) - (1 1)	314	319	(-341, 969)	0.98	0.335
(3 1) - (1 1)	154	319	(-501, 809)	0.48	0.633
(3 2) - (1 1)	1485	319	(830, 2140)	4.65	0.000
(3 3) - (1 1)	1996	319	(1341, 2652)	6.25	0.000
(1 3) - (1 2)	32	261	(-503, 567)	0.12	0.904
(2 1) - (1 2)	6	319	(-650, 661)	0.02	0.986
(2 2) - (1 2)	279	319	(-376, 934)	0.87	0.390
(2 3) - (1 2)	272	319	(-384, 927)	0.85	0.402
(3 1) - (1 2)	112	319	(-543, 767)	0.35	0.728
(3 2) - (1 2)	1443	319	(788, 2098)	4.52	0.000
(3 3) - (1 2)	1954	319	(1299, 2609)	6.12	0.000
(2 1) - (1 3)	-26	319	(-681, 629)	-0.08	0.935
(2 2) - (1 3)	248	319	(-408, 903)	0.78	0.445
(2 3) - (1 3)	240	319	(-415, 895)	0.75	0.459
(3 1) - (1 3)	80	319	(-575, 736)	0.25	0.803
(3 2) - (1 3)	1411	319	(756, 2066)	4.42	0.000
(3 3) - (1 3)	1923	319	(1268, 2578)	6.02	0.000
(2 2) - (2 1)	274	369	(-483, 1030)	0.74	0.464
(2 3) - (2 1)	266	369	(-490, 1023)	0.72	0.477
(3 1) - (2 1)	107	369	(-650, 863)	0.29	0.775

รูปที่ ข-8 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมด (Total heavy metal) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (Activity 1) กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน (Activity 2) และกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง (Activity 3) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 3) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 1) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Activity*Size Levels	Difference of Means	SE of Difference	Individual 95% CI	T-Value	P-Value
(3 2) - (2 1)	1437	369	(681, 2194)	3.90	0.001
(3 3) - (2 1)	1949	369	(1192, 2705)	5.29	0.000
(2 3) - (2 2)	-8	369	(-764, 749)	-0.02	0.984
(3 1) - (2 2)	-167	369	(-924, 589)	-0.45	0.654
(3 2) - (2 2)	1163	369	(407, 1920)	3.16	0.004
(3 3) - (2 2)	1675	369	(919, 2432)	4.54	0.000
(3 1) - (2 3)	-159	369	(-916, 597)	-0.43	0.669
(3 2) - (2 3)	1171	369	(415, 1928)	3.18	0.004
(3 3) - (2 3)	1683	369	(926, 2439)	4.56	0.000
(3 2) - (3 1)	1331	369	(574, 2087)	3.61	0.001
(3 3) - (3 1)	1842	369	(1086, 2599)	5.00	0.000
(3 3) - (3 2)	512	369	(-245, 1268)	1.39	0.177

Simultaneous confidence level = 47.64%

รูปที่ ข-8 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมด (Total heavy metal) จากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (Activity 1) กิจกรรมตัดโลหะด้วยความร้อน (Activity 2) และกิจกรรมเผาสายไฟในที่โล่ง (Activity 3) ในฝุ่นละอองหยาบ (size 3) ฝุ่นละอองละเอียด (size 2) และฝุ่นละอองละเอียดมาก (size 1) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวธิดารัตน์ แก้วหนู
วัน เดือน ปีเกิด	16 มิถุนายน 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	120/104 ซอยธนสิทธิ์ ถนนเทพารักษ์ ตำบลบางปลา อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา	(2556) วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) (2562) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
ผลงานทางวิชาการ	1. Size Distributions and Risk Assessment of Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons During Open-Burning of Cable Sheath การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Pure and Applied Chemistry International Conference 2019 (PACCON 2019) ระหว่างวันที่ 7-8 กุมภาพันธ์ 2562 ณ ศูนย์การประชุม BITEC กรุงเทพฯ 2. Size Distributions of Particulate Matter and Particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Risk Assessments during Cable Sheath Burning วารสาร Current Applied Science and Technology Vol. 19 No. 2 (May – August 2019)