โลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงต่อสุขภาพในชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ “ชุมชนเสือใหญ่” เขตจตุจักร

ดร. ศีลาวุธ ดำรงศิริ *

บทนำ

การแยกชิ้นส่วนหรือวัสดุมีค่าจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่ถูกจัดการโดยกลุ่มบุคคลทั่วไปในระดับครัวเรือน หรือโรงแยกชิ้นส่วนขนาดเล็ก ซึ่งไม่ได้กระทำโดยวิธีการจัดการที่เป็นมาตรฐาน ทั้งนี้ แหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ที่สุดตั้งอยู่ในประเทศจีน ในเมือง Guiyuและเมือง Longtang ในจังหวัด Guangdong และเมือง Taizhou จังหวัด Zhejiang (Puckett, 2003; Robinson, 2009) กิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นในชุมชนเหล่านั้น ได้แก่ การแกะตลับหมึกของเครื่องพิมพ์ การแกะและการทุบจอคอมพิวเตอร์และจอทีวี การทุบตัดแงะอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ การตัดพลาสติกเป็นชิ้นและการหลอมพลาสติก การเผาสายไฟเพื่อเอาทองแดง การเผาแผงวงจรด้วยเตาย่างเพื่อแยกโลหะมีค่า หรือแม้กระทั่งการละลายโลหะออกมาด้วยน้ำกรดและสุดท้ายซากที่เหลือมักถูกกองทิ้งไว้ หรือโยนลงแม่น้ำ (Puckett, 2003; Leung et al., 2006)

* สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับในประเทศไทย มีชุมชนที่ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์กระจายอยู่หลายแห่งทั่วประเทศ เช่น อำเภอม้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ (เพ็ญโฉมและคณะ, 2552) เป็นต้นอย่างไรก็ตาม ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์บางแห่งเกิดขึ้นมานานจนพื้นที่รอบด้านพัฒนาไปเป็นเมือง จนกลายเป็นชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ตั้งอยู่ใจกลางเมืองของกรุงเทพมหานคร เช่น "ชุมชนเสือใหญ่" ซึ่งอยู่ในซอยรัชดาภิเษก 36 เขตจตุจักร (สภาพทั่วไปดังรูปที่ 1) ทำให้มีลักษณะที่เฉพาะแตกต่างจากชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในพื้นที่อื่น ๆ มีผู้ประกอบการประมาณ 150 หลังคาเรือน กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชุมชนลักษณะนี้ ได้แก่การคัดแยกชิ้นส่วนที่ใช้งานได้กลับออกมาขายและการคัดแยกวัสดุรีไซเคิล ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว ทองเหลือง เหล็ก และโลหะอื่น ๆ ซึ่งนอกจากการคัดแยกด้วยอุปกรณ์ทางกลเพื่อนำชิ้นส่วนโลหะต่าง ๆ ออกมาโดยตรงแล้ว ยังมีการคัดแยกเศษโลหะอย่างน็อตหรือตะปูออกมาจากเครื่องใช้ที่ทำด้วยไม้ เบาะหนัง หรือผลิตภัณฑ์พลาสติก หรือการนำลวดทองแดงออกจากสายไฟด้วยการนำมากองเผาในที่โล่งอีกด้วย ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ย่อมเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักโดยเฉพาะในดินในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ ยังไม่พบการหลอมพลาสติก และการละลายโลหะออกมาด้วยน้ำกรดเช่นที่พบในประเทศจีน นอกจากนี้ จากการสำรวจพื้นที่ซอยเสือใหญ่อุทิศพบว่ามีการทิ้งของเหลวบางชนิดซึ่งคาดว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือพวกน้ำมันหล่อลื่นต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ อาทิ ของเหลวที่บรรจุอยู่ในคอมเพรสเซอร์ของตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ หรือการใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนโดยตรงจากการเททิ้ง หรือแพร่กระจายไปกับน้ำท่วมเนื่องจากจากการสอบถามพบว่ามีน้ำท่วมเล็กน้อยบ่อยครั้งเมื่อฝนตก

รูปที่ 1 สภาพทั่วไปของบริเวณที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชุมชนเสือใหญ่

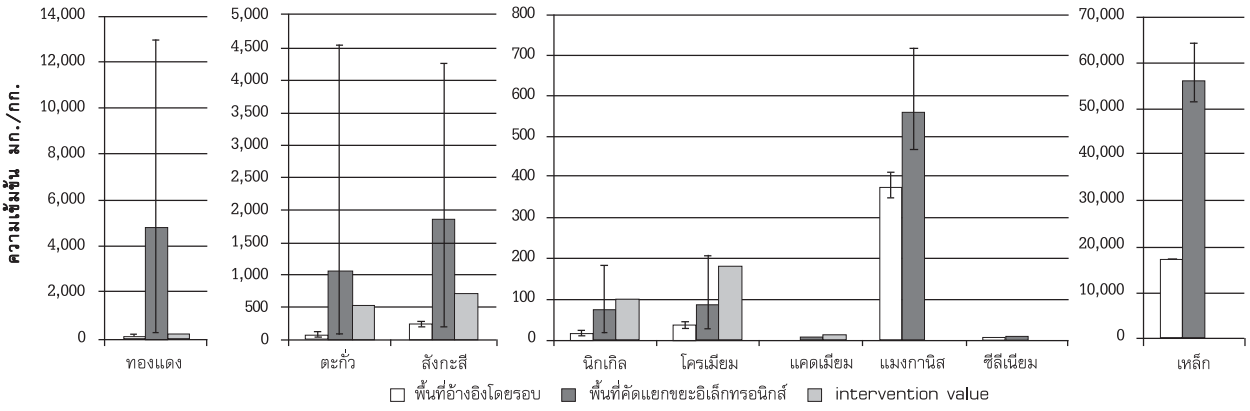
มีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาถึงการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยกลุ่มชุมชนซึ่งพบการปนเปื้อนของสารมากมายหลายชนิด อาทิ กลุ่มโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง ตะกั่วสังกะสี แคดเมียม นิกเกิลและโครเมียม (Leung et al., 2006; Lou et al., 2008a Lou et al., 2008b; Ha et al., 2009; Tang et al., 2010; Li et al., 2011; Lou et al., 2011; Alabi et al., 2012; Zhang et al., 2014; Wu et al., 2015) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพิษอย่างมาก เช่น โพลีคลอริเนตไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyls, PCB) จากหม้อแปลงไฟฟ้า คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon, CFC) ซึ่งเป็นสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศและตู้เย็น

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดร์คาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) และสารหน่วงไฟ (Polybrominated diphenyl ethers, PBDEs) ที่เกิดการปนเปื้อนจากการนำพลาสติกมาเผา ตลอดจนสารไดออกซิน และฟิวแรน เป็นต้น (Leung et al., 2006; Robinson, 2009; Tang et al.,2010)

ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยต่าง ๆ นั้น มักทำการพิจารณาเบื้องต้นโดยการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ได้กำหนดไว้ในกฎหมายของประเทศนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวมีค่าไม่เท่ากัน และบางครั้งต่างกันมาก ซึ่งในบางประเทศได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานดังกล่าวไป เนื่องจากตามธรรมชาตินั้นดินแต่ละแห่งจะมีปริมาณโลหะหนักปนอยู่ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุต้นกำเนิดดินในพื้นที่นั้น ๆ และในหลายกรณีมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพดินทั่วไปตามธรรมชาติที่ได้กำหนดไว้ในกฎหมาย ทำให้เกิดปัญหาในการตีความ เช่น บางพื้นที่ที่มีอาจมีสารแร่ผ่าน ทำให้มีโลหะหนักบางชนิดสูงโดยธรรมชาติ ในที่นี้การพิจาณาระดับการปนเปื้อนในการศึกษานี้ จึงยึดตามค่า Intervention value (VROM, 2009) ซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐานของเนเธอร์แลนด์ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับการปนเปื้อนที่สูงและควรได้รับการพิจารณาเพื่อการบำบัด โดยมีค่าที่กำหนดไว้ ได้แก่ ทองแดง 190 มก./กก. สังกะสี 720 มก./กก. ตะกั่ว 530 มก./กก. นิกเกิล 100 มก./กก. ตะวาเลนท์โครเมียม 180 มก./กก. แคดเมียม 13 มก./กก.)

การตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินในชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชุมชนเสือใหญ่จากการศึกษาที่ผ่านมา (ศีลาวุธ, 2558) สรุปได้ดังรูปที่ 2โดยพบว่าพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีการปนเปื้อนโลหะหนักหลายชนิด โดยพิจารณาจากการที่มีค่าสูงกว่าพื้นที่อ้างอิงโดยรอบซึ่งไม่มีการคัดแยกขยะ โดยโลหะหนักที่พบว่าตัวอย่างมีความเข้มข้นเกินกว่า ค่า Intervention value จากจำนวนตัวอย่างมากไปน้อยตามลำดับ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และนิกเกิล ทั้งนี้ ยังพบการปนเปื้อนของโครเมียม และแคดเมียมเล็กน้อย และไม่พบการปนเปื้อนของซีลีเนียม นอกจากนี้นอกจากโลหะหนักที่เป็นพิษต่าง ๆ แล้ว ยังตรวจพบเหล็กและแมงกานีสสูงกว่าพื้นที่อ้างอิงรอบนอกอีกด้วย ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในดินจากพื้นที่อ้างอิงโดยรอบซึ่งไม่มีการคัดแยกขยะกับผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในดินกรุงเทพฯ (Wilckeet al., 1998) จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันจึงกล่าวได้ว่าพื้นที่อ้างอิงโดยรอบไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

เมื่อนำผลความเข้มข้นของโลหะหนักในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในซอยเสือใหญ่อุทิศไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น ๆ จากพื้นที่ต่าง ๆ กัน พบว่า การปนเปื้อนของพื้นที่ศึกษาบางบริเวณมีค่าอยู่ในช่วงที่สูงของกลุ่มข้อมูลจากการศึกษาต่าง ๆ ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุจากการสะสมของโลหะหนักต่าง ๆ ที่เกิดจากการคัดแยกโดยการตัด เลื่อย หรือทุบ โดยเครื่องมือต่าง ๆ ที่ร่วงหล่นลงพื้นที่คัดแยก และถูกปัดกวาดชะล้างโดยลมและฝน ออกจากพื้นคอนกรีตไปสะสมอยู่บนพื้นดินในบริเวณใกล้เคียง



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินจากพื้นที่อ้างอิงโดยรอบในชุมชนซอยเสือใหญ่อุทิศ พื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และค่า Intervention value (ศีลาวุธ, 2558)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นในพื้นที่ปนเปื้อน ในหน่วย มก./กก.

สถานที่	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	นิกเกิล	อ้างอิง
เมือง Guiyuประเทศจีน	2,920	2,960	6,920	66	Deng et al. (2006)
โรงงานคัดแยกขยะรอบเมืองมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์	26,000	6,200	3,000	2,100	Fujimori et al.(2012)
ชุมชนคัดแยกขยะ รอบเมืองมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์	6,300	1,100	2,900	380	Fujimori et al.(2012)
ฝุ่นภายนอกอาคาร พื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเทศจีน	15,028	4,489	4,764	294	Zheng et al. (2013)
ฝุ่นภายในอาคาร พื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเทศจีน	1,712	1,467	2,250	142	Zheng et al. (2013)

นอกจากการปนเปื้อนในดินแล้ว โลหะหนักเหล่านี้ยังสามารถแพร่กระจายอยู่ในรูปของฝุ่นละอองได้ โดยผลการตรวจสอบปริมาณโลหะหนักจากพื้นที่ปนเปื้อนจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จากแหล่งต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฝุ่นละอองในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชุมชนเสือใหญ่นี้อาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในปริมาณที่สูงได้เช่นกัน

ทั้งนี้ พื้นที่ศึกษาซอยเสือใหญ่อุทิศตั้งอยู่กลางเมืองใหญ่อยู่ท่ามกลางอาคารพักอาศัยที่มีผู้อยู่อาศัยหนาแน่น จึงมีลักษณะพื้นที่โดยรวมต่างจากการคัดแยกขยะในพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นชนบทที่ล้อมรอบไปด้วยพื้นที่เกษตรกรรม ด้วยลักษณะพื้นที่ที่เป็นชุมชนเมืองความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนในชุมชนและพื้นที่โดยรอบจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับอาหารการกินเหมือนในพื้นที่ชนบท เนื่องจากไม่ได้บริโภคอาหารและน้ำจากในพื้นที่โดยตรง แต่อาจยังมีความเสี่ยงจากฝุ่นที่ปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายได้จากหายใจ หรือ ปนเปื้อนสู่อาหารผ่านการหยิบจับ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน โดยแยกศึกษาเป็นส่วนที่หยาบและส่วนที่ละเอียดที่สามารถฟุ้งกระจายเป็นฝุ่นเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในเบื้องต้น

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่าง

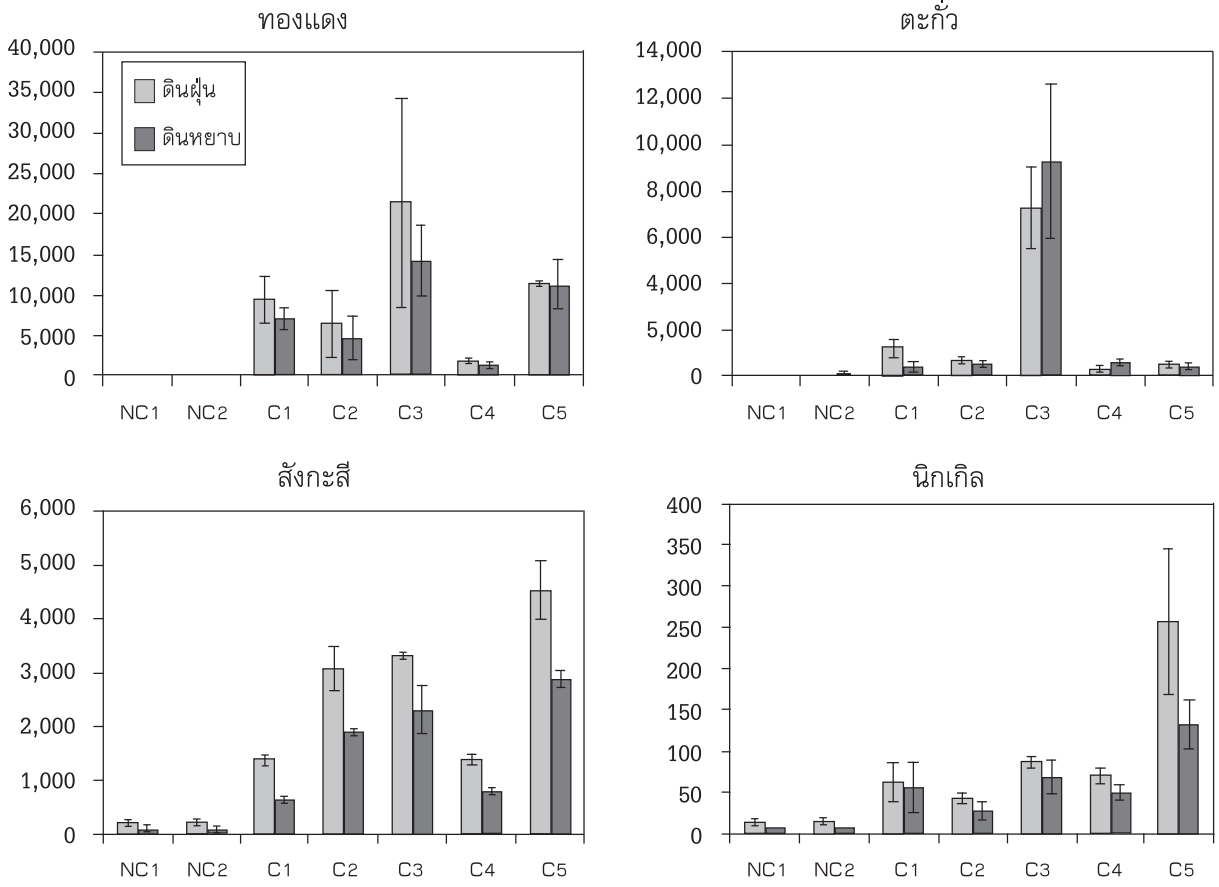
พื้นที่ศึกษาอยู่ภายในชุมชนเสือใหญ่ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ แสดงได้ดังรูปที่ 3 ลักษณะของพื้นที่มีลักษณะของการเปลี่ยนไปเป็นชุมชนเมือง ซึ่งทำให้เกิดการทำถนนคอนกรีตและการปูพื้นหรือลานต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบกิจกรรมด้วยคอนกรีต และมีพื้นที่ว่างเปล่าเป็นบางแห่งและขอบทางที่เว้นเป็นดินไว้ปลูกต้นไม้ การปนเปื้อนในพื้นที่ย่อมไม่เกิดขึ้นบนพื้นปูนลักษณะต่าง ๆ แต่เศษฝุ่น เถ้า หรือตะกอนต่าง ๆ ที่เกิดจากการคัดแยกจะถูกปัดกวาดหรือชะล้างไปทับถมกันในบริเวณโดยรอบตัวอาคาร หรือริมถนน หรือแม้แต่ถูกชะล้างลงสู่ระบบระบายน้ำซึ่งมีการจัดวางไว้ตามแนวถนนการเก็บตัวอย่างในการศึกษานี้เป็นไปในลักษณะการเก็บตัวอย่างแบบผสมโดยเก็บตัวอย่างดินจากหลาย ๆ จุดในแต่ละบริเวณที่กำหนดไว้มาผสมกัน โดยเก็บตัวอย่างผิวดินที่ความลึกไม่เกิน 10 เซนติเมตร ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท เพื่อนำมาจัดเตรียมในห้องปฏิบัติการจุดเก็บตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 3 ตัวอย่างดินหมายเลข NC1 และ NC2 ซึ่งเป็นตัวแทนของดินจากพื้นที่ที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และหมายเลข C1 ถึง C5 ซึ่งเป็นตัวแทนของดินจากพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3 จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา

การเตรียมตัวอย่างและการตรวจวัดการปนเปื้อนในดิน

การเตรียมตัวอย่างดินในการศึกษานี้ประยุกต์มาจาก Guideline on Laboratory Analysis of Potentially Contaminated Soils (NEPC, 2011) โดยแยกเศษหินกรวดหรือใบไม้และวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินออกแล้วจึงนำตัวอย่างดินไปลดขนาดและผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenising) แล้วร่อนด้วยตะแกรง (Sieving) จนได้ตัวอย่างดิน 2 ขนาด คือ 0.063–2 มิลลิเมตรซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเม็ดดินหยาบ และตัวอย่างดินเล็กกว่า 0.063 มิลลิเมตร (เล็กกว่าอนุภาคดินประมาณ 30 เท่า) ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเม็ดดินฝุ่น ซึ่งดินฝุ่นในที่นี้มีขนาดเท่ากับฝุ่นละอองรวมตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ซึ่งสามารถพิจารณาให้เป็นตัวแทนของฝุ่นละอองในพื้นที่ได้ ทั้งนี้ ดินแต่ละส่วนจะถูกนำไปตรวจวัดการปนเปื้อนของโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และนิกเกิล โดยตัวอย่างดินจะถูกย่อยด้วยวิธีมาตรฐาน EPA 3051A จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

ผลการศึกษา



รูปที่ 4 ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินฝุ่นและดินหยาบ (มก./กก.)

ผลความเข้มข้นของโลหะหนักในเม็ดดินฝุ่นและเม็ดดินหยาบ แสดงได้ดังรูปที่ 4 ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในตัวอย่างดินจากพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (C1–C5) สูงกว่าพื้นที่ที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (NC1, NC2) ทั้งหมดความเข้มข้นของทองแดงทุกตัวอย่าง สังกะสีเกือบทุกตัวอย่าง และตะกั่วเกินกว่าครึ่งหนึ่งของจุดเก็บตัวอย่าง ทั้งในดินฝุ่นและดินหยาบ สูงกว่าค่า Intervention value และมีตัวอย่างเดียวที่มีความเข้มข้นของนิกเกิลสูงกว่าค่า Intervention value

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล ในส่วนของเม็ดดินฝุ่นและเม็ดดินหยาบพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ในดินฝุ่นและดินหยาบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.05$) แต่สำหรับความเข้มข้นของสังกะสีในส่วนของดินฝุ่นพบว่ามีค่ามากกว่าในดินหยาบอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.05$) ทุกตัวอย่าง การที่ความเข้มข้นของโลหะหนักในเม็ดดินฝุ่นซึ่งเป็นเม็ดดินขนาดเล็กมาก และเม็ดดินหยาบซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า มีค่าใกล้เคียงกันหรือต่างกันเพียงไม่มากนัก เป็นลักษณะของผลการสำรวจที่ไม่เหมือนกับผลการศึกษาทั่ว ๆ ไป ซึ่งมักพบโลหะหนักสะสมอยู่ในส่วนของดินที่มีเม็ดดินขนาดเล็กอย่างดินโคลน เนื่องจากเม็ดดินขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าและมักพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า CEC และ ปริมาณอินทรียวัตถุอย่างเด่นชัด (BuajanandPumijumnong, 2010; Pumijumnong and U ppadit, 2012) ซึ่งเป็นการสะสมโดยกลไกการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนหรือตกตะกอนบนพื้นผิวของดินโคลน (Sparks, 2003; Bradl, 2004)

ดังนั้น การที่ความเข้มข้นโลหะหนักในเม็ดดินฝุ่นและเม็ดดินหยาบมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า การปนเปื้อนไม่ได้เป็นไปในลักษณะดังกล่าว การสะสมของโลหะหนักของเม็ดดินหยาบอาจไม่ได้สะสมแต่เพียงที่พื้นผิว แต่สมมติฐาน

ได้ว่าอาจเป็นไปในลักษณะที่เม็ดดินบางส่วนนั้นเองเป็นเศษโลหะขนาดเล็ก โดยเมื่อพิจารณาถึงที่มาของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีที่มาที่ต่างกันไป เช่น ทองแดง ที่มีแหล่งที่มาหลักจากลวดทองแดงในสายไฟฟ้า (Hino et al., 2009) และแผงวงจร (Man et al., 2013) และ ตะกั่ว มีที่มาจากตะกั่วบัดกรีในอุปกรณ์ไฟฟ้าและแผงวงจร (Brigden et al., 2005; Man et al., 2013) และเป็นส่วนผสมของแก้วในจอทีวีและคอมพิวเตอร์แบบ CRT (leaded glass) (Robinson, 2009) และนอกจากนี้ ชิ้นส่วนอื่น ๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ล้วนแล้วแต่มีเนื้อเป็นโลหะที่ผสมขึ้นจากโลหะผสมหลายชนิดการปนเปื้อนที่เกิดจากการคัดแยก จึงน่าจะเริ่มในรูปของเศษโลหะจากการตัด แงะ เลื่อย สอดคล้องสมมติฐานข้างต้น จึงทำให้เชื่อได้ว่าโลหะหนักอย่างเช่น ทองแดง ซึ่งมีที่มาหลัก ๆ จากเศษทองแดงในสายไฟ อาจเริ่มต้นการปนเปื้อนจากลักษณะของเศษทองแดง และถูกกัดกร่อนหรือชะละลายผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในธรรมชาติ จนมีขนาดเล็กลงจนเป็นฝุ่น หรือละลายออกมาทีละน้อยจนปนเปื้อนไปสะสมยังดินฝุ่นซึ่งมีขนาดเล็กมากได้นั่นเอง

การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ และความเสี่ยงต่อสุขภาพ

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา (ศีลาวุธ, 2558) และการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ซอยเสือใหญ่อุทิศค่อนข้างจำกัดอยู่ในวงแคบ คือ เฉพาะพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้นโดยไม่พบการปนเปื้อนในพื้นที่ห่างออกไปไม่ถึงร้อยเมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Li et al. (2011) ที่พบว่าการแพร่กระจายจะไม่เป็นวงกว้าง ซึ่งน่าจะมาจากการที่โลหะหนักเหล่านี้มีไม่ได้ระเหยโดยง่ายเหมือนสารจำพวกน้ำมัน (Li et al., 2011a)

อย่างไรก็ตามจากการทบทวนผลการศึกษาต่าง ๆ พบรูปแบบการแพร่กระจายของโลหะหนักในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ การแพร่กระจายออกสู่พื้นที่ข้างเคียง และแหล่งน้ำใกล้เคียง (Leung et al., 2006; Jun-hui and Hang, 2009; Zhang et al., 2014; Wu et al., 2015) รวมถึง การแพร่กระจายออกสู่พื้นที่เกษตรกรรมโดยรอบ ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักเข้าสู่พืชอาหาร (Fu et al., 2008; Jun-hui and Hang, 2009; Li et al., 2011b; Luo et al., 2011; Zheng et al., 2013; Zhuang et al., 2013) ซึ่งในการศึกษาเหล่านี้ พบการปนเปื้อนมากบ้างน้อยบ้าง ซึ่งสาเหตุของการปนเปื้อนในพื้นที่โดยรอบน่าจะเป็นไปในลักษณะของการพัดพาไปกับตะกอนดิน หรือหรือฝุ่นโลหะหนักจากการกองเผา หรือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโลหะไปอยู่ในรูปที่สามารถชะละลายได้ และการพัดพาไปของฝุ่นที่มีโลหะหนักปนเปื้อน

ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่เสือใหญ่อุทิศมีลักษณะเป็นชุมชนหนาแน่นที่อยู่กลางเมืองหลวง จึงไม่มีลักษณะของพื้นที่ข้างเคียงดังกล่าว มีแต่เพียงอาคารบ้านเรือน ถนนคอนกรีต และรางระบายน้ำ ตามลักษณะของการเป็นเมือง ทำให้เชื่อว่าการที่ไม่พบการแพร่กระจายของโลหะหนักในพื้นคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ไปยังพื้นที่ข้างเคียงที่ไม่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะโดยรอบ น่าจะเป็นผลจากระบบรวบรวมน้ำฝนในพื้นที่ ทำให้ตะกอนดินต่าง ๆ ที่ถูกน้ำท่าพัดพาไม่แพร่กระจายไปไกล แต่ถูกรวบรวมลงสู่ท่อระบายน้ำ และการที่มีอาคารบ้านเรือนหนาแน่นทำให้ไม่มีกระแสลมแรง จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของฝุ่นน้อย

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดการรับเอาโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผู้อยู่อาศัยในพื้นที่แล้ว มีช่องทางต่าง ๆ ได้แก่ การรับประทาน น้ำ พืชผัก หรือสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่มีโลหะหนักสะสมอยู่ในตัวมันเข้าไป และการหายใจเอาฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนโลหะหนักเข้าไป ซึ่งในที่นี้ เนื่องจากสภาพของความเป็นเมือง จึงไม่ได้มีการปลูกผัก จับสัตว์หรือใช้น้ำในพื้นที่เพื่อการอุปโภคบริโภค ปัจจัยเสี่ยงหลักจึงเหลือเพียงสาเหตุเดียว คือ เรื่องของฝุ่นละออง ที่จะผ่านเข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจ หรือ การการทานอาหารที่เลอะฝุ่น หรือผ่านการใช้ภาชนะหรือมือที่เปื้อนฝุ่น ทั้งนี้ เอกสารแนวทางการประเมินความเสี่ยงของ USEPA ได้ให้ข้อสังเกตไว้ว่าเด็กจะรับสัมผัสตัวกลางที่เป็นดินและฝุ่นผ่านการกินและสัมผัสมากกว่าผู้ใหญ่มาก (US EPA, 1989) การศึกษาด้านความเสี่ยงต่อสุขภาพในชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ในประเทศจีน (Zheng et al., 2013) ซึ่งประเมินโดยสมมติให้รับโลหะหนักที่ปนเปื้อน ผ่านการรับประทานอาหารที่ผลิตในพื้นที่ ได้แก่ ข้าว และผัก และ การรับฝุ่นดินเข้าสู่ร่างกาย พบว่า ผู้ใหญ่ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จะมีความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่ใช่โรคมะเร็ง (non-carcinogenic risk) ผ่านการกินอาหารมากกว่าการรับฝุ่นดินเข้าสู่ร่างกาย และพบว่าเด็กที่อาศัยอยู่ในชุมชนมีความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงกว่าในผู้ใหญ่ โดยมีสาเหตุหลักมาจากการรับฝุ่นเข้าสู่ร่างกาย (Hazardous index = 15) ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการรับฝุ่นเข้าสู่ร่างกายผ่านทางปากมากกว่าจะเกิดจากการซึมผ่านผิวหนังและการหายใจ

จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ เมื่อสมมติให้ดินฝุ่นเป็นตัวแทนของฝุ่นที่รับเข้าสู่ร่างกายเพื่อทำการประเมินปริมาณการรับสารเคมีต่อน้ำหนักตัวเฉพาะในส่วนที่เข้าสู่ร่างกายผ่านฝุ่น (Chronic daily intake, CDI) ด้วยสมการ “CDI = [CSxIRxEFxED]/[BWxAT]” โดยใช้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะหนัก (CS) จากจุดต่าง ๆ ของดินฝุ่นในพื้นที่ปนเปื้อนจากรูปที่ 4 และกำหนดค่าต่าง ๆ ได้แก่ เด็ก หมายถึงประชากรที่มีอายุ 1-6 ปี (ED = 6 ปี) ผู้ใหญ่ หมายถึง ประชากรอายุ 6-70 ปี (ED = 70 ปี) ประชากรใช้เวลาอยู่ในพื้นที่ปีละ 350 วัน (EF) อัตราการรับฝุ่นผ่านการกินต่อวัน (IR) เท่ากับ 200 มก./วัน สำหรับเด็ก และ 100 มก./วัน สำหรับผู้ใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ย (BW) เท่ากับ 16 กก. สำหรับเด็ก และ 70 กก. สำหรับผู้ใหญ่ (ค่าประมาณที่แนะนำไว้ใน US EPA, 1989) และประเมินในกรณีอยู่อาศัยตั้งแต่เกิด (AT=6 ปี สำหรับเด็ก;AT=70 ปี สำหรับผู้ใหญ่) ซึ่งแสดงผลการประเมินและค่ามาตรฐานในข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานในข้อกำหนดต่าง ๆ เหล่านี้ มีหลักการคล้ายกัน คือ เป็นปริมาณสูงสุดที่ประชากรได้รับเข้าสู่ร่างกายแล้วไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการเกิดโรคที่ไม่ใช่มะเร็ง จากผลการประเมินอย่างคร่าว ๆ พบว่าเด็กนั้นมีค่า CDI สูงกว่าผู้ใหญ่ประมาณเกือบ 9 เท่า เนื่องจากธรรมชาติของเด็กที่มักไม่ได้ระมัดระวังตัวเองในด้านความสะอาดจึงมีการกินฝุ่นเข้าไปมากกว่า และยังมีน้ำหนักตัวน้อย จึงมีค่า CDI สูงกว่า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ CDI กับค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานต่าง ๆ จะพบว่า สำหรับผู้ใหญ่จะมีเพียงทองแดงที่มีค่าเกินมาตรฐาน และเกินเพียงข้อกำหนดเดียว ในขณะที่สำหรับเด็กนั้นพบว่าปริมาณทองแดงที่ได้รับต่อวันจากการประเมินมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานจากทุกข้อกำหนด และตะกั่วเกินมาตรฐาน 1 ข้อกำหนด ส่วนสังกะสีและนิกเกิลพบว่าไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานในข้อกำหนดต่าง ๆ ทั้งนี้ สำหรับตะกั่วนั้นที่ยังไม่ได้ระบุอยู่ในหลายข้อกำหนดเนื่องจากยังอยู่ในระหว่างการศึกษาซึ่งยังไม่ได้ผลที่ชัดเจน (US EPA, 2015a)

จากผลการศึกษานี้ เป็นที่น่าสังเกตว่า แม้ทองแดงจะเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายไม่มาก และแม้มีกำหนดไว้ในมาตรฐานก็จะอยู่ในตัวเลขที่ปนเปื้อนหรือรับสัมผัสได้สูง แต่การปนเปื้อนในกรณีศึกษานี้กลับพบความเสี่ยงทางสุขภาพจากทองแดงสูงกว่าตะกั่วและนิกเกิลซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นอันตรายกว่า เนื่องจากความเข้มข้นของทองแดงจากการปนเปื้อนมีค่าสูงมาก ดังนั้น นอกจากตะกั่วแล้ว ทองแดงจึงเป็นโลหะหนักอีกชนิดที่ไม่ควรมองข้ามถึงอันตรายจากการปนเปื้อนในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 2 ปริมาณสารเคมีผ่านฝุ่นที่เข้าสู่ร่างกายทางปาก (CDI) และค่ามาตรฐานตามข้อกำหนดต่าง ๆ (มก./กก. วัน)

CDI และค่ามาตรฐานตามข้อกำหนด	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	นิกเกิล
CDI เด็ก	0.1216	0.0239	0.0328	0.0012
CDI ผู้ใหญ่	0.0139	0.0027	0.0037	0.0001
MRLs - US HHS ASTDR (US HHS, 2015)	0.0100	-	0.3000	-
RfD - USEPA IRIS (US EPA, 2015a)	-	-	0.3000	-
RfD - US EPA RSL (USEPA, 2015b)	0.0400	-	0.3000	0.0110
TDI - USEPA (US EPA, 2007)	-	-	0.3000	0.0200
TDI เด็ก - Canada (Health Canada, 2007)	0.1110	0.0036	0.4760	-
TDI ใหญ่ - Canada (Health Canada, 2007)	0.1410	0.0036	0.5660	-

MRLs = Minimal Risk Levels; RfD = Reference dose; TDI = Tolerable daily intake

สรุปผลการศึกษา

กิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์นั้นเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก การศึกษานี้เป็นการศึกษาในเม็ดดิน 2 ขนาด คือ ดินฝุ่น (เล็กกว่า 0.063 มิลลิเมตร) และดินหยาบ (0.063-2 มิลลิเมตร)โดยพบว่าความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และนิกเกิล ในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีค่าสูงกว่าพื้นที่รอบนอกที่ไม่มีการคัดแยกขยะมาก ความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล ในดินฝุ่นและดินหยาบไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความเข้มข้นของสังกะสีในส่วนของดินฝุ่นมากกว่าในดินหยาบ ซึ่งแตกต่างกับการปนเปื้อนทั่ว ๆ ไป ซึ่งมักพบว่ามีการปนเปื้อนในเม็ดดินละเอียดมากกว่าในเม็ดดินหยาบเนื่องจากการสะสมบนพื้นผิวเม็ดดิน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเม็ดดินหยาบบางส่วนไม่ได้เป็นเม็ดดินแต่เป็นเศษโลหะขนาดเล็ก ปัจจัยเสี่ยงหลักต่อสุขภาพของประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ คือ การรับเอาดินฝุ่นที่ปนเปื้อนโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านการกิน โดยทองแดงและตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณการรับสารเคมีต่อน้ำหนักตัวเฉพาะในส่วนที่เข้าสู่ร่างกายผ่านฝุ่น (สำหรับเด็ก) ที่เกินค่ามาตรฐานจากข้อกำหนด ซึ่งจากการประเมินพบว่าเด็กรับทองแดงและตะกั่วนี้เข้าสู่ร่างกายสูงกว่าผู้ใหญ่ถึงเกือบ 9 เท่า ดังนั้น ผู้อยู่อาศัยในพื้นที่คัดแยกขยะจึงควรระมัดระวังการรับเอาฝุ่นดินเข้าสู่ร่างกายผ่านการกิน โดยทำความสะอาดมือ ภาชนะและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการบริโภคทั้งอาหารและน้ำ และอุปกรณ์การประกอบอาหาร และไม่ควรวางอาหารทิ้งไว้โดยไม่มีฝาครอบ และควรดูแลบุตรหลานมิให้เอามือหยิบจับสิ่งของเข้าปาก หรือไม่ควรให้บุตรหลานเข้ามาอาศัยหรือวิ่งเล่นอยู่ในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยควรมีที่พักอาศัยอยู่ในพื้นที่ข้างเคียงแทน

เอกสารอ้างอิง

เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง, สุกรานต์ โรจนไพรวงศ์, วลัยพร มุขสุวรรณ, สุภาวดี ประทุมชาติ. การศึกษาเชิงปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบและแสวงหาแนวทางการจัดการขยะอย่างมีส่วนร่วม กรณีตำบลโคกสะอาด อำเภอม่องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์.2552.

ศีลาวุธ ดำรงศิริ (2558). การปนเปื้อนโลหะหนักในดินในพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. วารสารสิ่งแวดล้อมปีที่ 19 ฉบับที่ 3 (2558).

Alabi, O.A., Bakare, A.A., Xu, X., Lin, B., Zhang, Y. &Huo, X. Comparative evaluation of environmental contamination and DNA damage induced by electronic-waste in Nigeria and China.Science of the Total Environment 423(2012): 62-72.

Bradl, H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents.Journal of Colloid and Interface Science 277 1 (2004): 1-18.

Brigden, K., Labunska, I., Santillo, D., and Allsopp, M. Recycling of Electronic Wastes in China and India: Workplace and Environmental Contamination. The Netherlands: Greenpeace International, 30 August 2005.

Buajan, S., and Pumijumnong, N.DIstribution of heavy metals in mangrove sediment at the Tha Chin estuary, SamutSakhon Province, Thailand. Journal of Environmental Research 32 (2): 61-77.

Deng, W.J., Louie, P.K.K., Liu, W.K., Bi, X.H., Fu, J.M., and Wong, M.H.Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metalsin TSP and PM2.5 at an electronic waste recycling site insoutheast China. Atmospheric Environment 40 (2006): 6945-6955.

Fu, J., Zhou, Q., Liu, J., Liu, W., Wang, T., Zhang, Q. and Jiang, G.High levels of heavy metals in rice (Oryzasativa L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health.Chemosphere 71 7 (2008): 1269-1275.

Fujimori, T., Takigami, H., Agusa, T., Eguchi, A., Bekki, K. Yoshida, A., Terazono, A., and Ballesteros Jr, F.C. Impact of metals in surface matrices from formal and informal electronic-waste recycling around Metro Manila, the Philippines, and intra-Asian comparison. Journal of Hazardous Materials 221-222 (2012): 139-146.

Ha, N.N., Agusa, T., Ramu, K., Tu, N.P.C., Murata, S., Bulbule, K.A. et al. Contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India.Chemosphere 76(2009): 9-15.

Health Canada.(draft) Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada. Part II: Toxicological Reference Values (TRVs). Version 2.0, 2007.

Hino, T., Agawa, R., Moriya, Y., Nishida, M., Tsugita, Y., and Araki, T. Techniques to separate metal from waste printed circuit boards from discarded personal computers. Journal of Material Cycles and Waste Management 11 (2009): 42-54.

Jun-hui, Z. and Hang, M. Eco-toxicity and metal contamination of paddy soil in an e-wastes recycling area. Journal of Hazardous Materials 165 1-3 (2009): 744-750.

Leung, A., Cai, Z. W. and Wong, M. H. Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, southeast China.Journal of Material Cycles and Waste Management 8 (2006): 21-23.

Li, H., Bai, J., Li, Y., Cheng, H., Zeng, E. Y. and You, J. Short-range transport of contaminants released from e-waste recycling site in South China. Journal of Environmental Monitoring 13 (2011a): 836-843.

Li, J., Duan, H. and Shi, P. Heavy metal contamination of surface soil in electronic waste dismantling area: site investigation and source-apportionment analysis. Waste Management & Research 29 7 (2011b): 727-738.

Luo, C., Liu, C., Wang, Y., Liu, X., Li, F., Zhang, G. & Li, X. Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, South China.Journal of Hazardous Materials 186 (2011): 481-490.

Luo, Y., Luo, X., Yang, Z., Yu, X., Yuan, J. Chen, S., & Mai, B. Studies on heavy metal contamination by improper handling of e-waste and its environmental risk evaluation. II. Heavy metal contamination in surface soils on e-waste disassembling workshops within villages and the adjacent agricultural soils. Asian Journal of Ecotoxicology 3(2008a): 123-129.

Luo, Y., Luo, X., Yang, Z., Yu, X., Yuan, J. Chen, S., & Mai, B. Studies on heavy metal contamination by improper handling of e-waste and its environmental risk evaluation. IV. Heavy metal contamination of sediments in a small scale valley impacted by e-waste treating activities. Asian Journal of Ecotoxicology 3 (2008b): 343-349.

Man, M., Naidu, R., and Wong, M.H. Persistent toxic substances released from uncontrolled e-waste recycling and actions for the future. Science of the Total Environment 463-464 (2013): 113-1137

NEPC (National Environment Protection Council) (Australian). NEPM Schedule B(3) Guideline on Laboratory Analysis of Potentially Contaminated Soils, 2011.

Puckett, J., Smith T., Byster, L., Westerrelt, S., Gutierrez, R., Davis, S. and Hussain, A. Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asia. Diane Pubublishing Co., Darby, 2003.

Pumijumnong, N., and Uppadit, B. Accumulation of heavy metals in mangrove sediments of Chumphon Province, Thailand.Journal of Environmental Research.34 (2): 21-38.

Robinson, B.H. E-waste: An assessment of global production and environmental impact. Science of the Total Environment 408 (2009): 183-191.

Sparks, D.L. Environmental soil chemistry. 2nd ed. , China : Academic Press, 2003.

Tang, X., Shen, C., Shi, D., Cheema, S.A., Khan, M.I., Zhang, C. & Chen, Y. Heavy metal and persistent organic compound contamination in soil from Wenling: an emerging e-waste recycling city in Taizhou area, China. Journal of Hazardous Materials 173 (2010): 653-660.

VROM.Soil Remediation Circular 2009, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (Netherlands). 2009.

Wilcke, W., Muller, S., Kanchanakool, N., and Zech, W. Urban soil contamination in Bangkok: heavy metal and aluminium partitioning in topsoils. Geoderma 86 (1998): 211-228.

Wu, Q., Leung, J. Y. S., Geng, X., Chen, S., Huang, X., Li, H., Huang, Z., Zhu, L., Chen, J. and Lu, Y. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals. Science of the Total Environment 506-507 (2015): 217-225.

US EPA, Risk assessment guidance for superfund, Human Health Evaluation Manual Part A, Interim Final, vol. I. 7Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, 1989.EPA/ 540/1-89/002.

USEPA.IRIS (Integrated Risk Information System).[Online].Available:http://www.epa.gov/iris/. 2015a.

USEPA. RSL (Regional Screening Level), Resident Soil Table.[Online].Available:http://www.epa.gov/ reg3hwmd/risk/human/rb-concentration_table/Generic_Tables/. 2015b.

USEPA.Region III Human Health Risk Assessment.[Online].Available:http://www.epa.gov/reg3hwmd/ risk/human/index.htm. 2007.

US HHS, ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Minimal Risk Levels (MRLs). [Online].Available:http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/index.asp. 2015.

Zhang, Q., Ye, J., Chen, J., Xu, H., Wang, C. & Zhao, M. Risk assessment of polychlorinated biphenyls and heavy metals in soils of an abandoned e-waste site in China. Environmental Pollution 185 (2014): 258-265.

Zheng, J., Chen, K.-h., Yan, X., Chen, S.-J., Hu, G.-C., Peng, X.-W., Yuan, J.-g., Mai, B.-X.and Yang, Z.-Y. Heavy metals in food, house dust, and water from an e-waste recycling area in South China and the potential risk to human health. Ecotoxicology and Environmental Safety 96 (2013): 205-212.

Zhuang, P., Li, Z.-A., Zou, B., Xia, H.-P.and Wang, G. Heavy Metal Contamination in Soil and Soybean near the Dabaoshan Mine, South China. Pedosphere 23 3 (2013): 298-304.