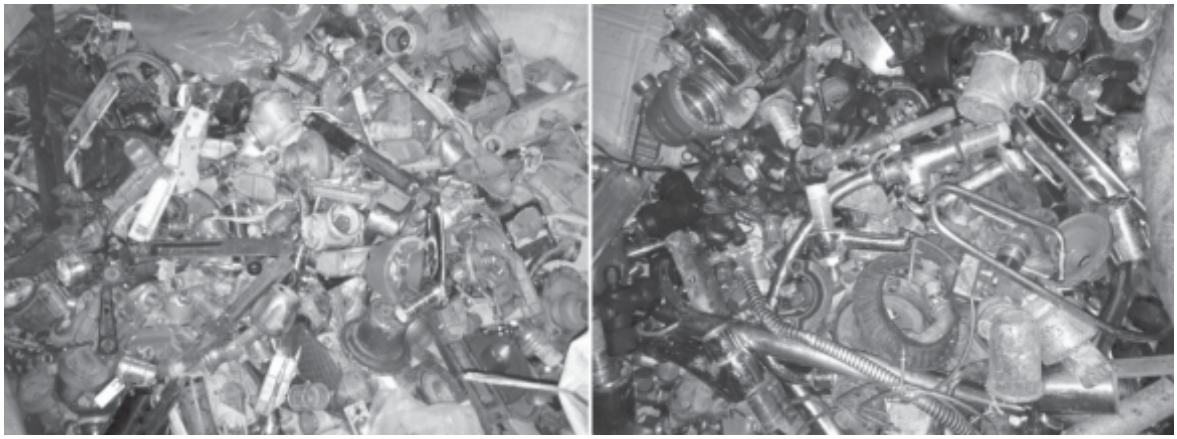
การปนเปื้อนโลหะหนักในดินในพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร

ดร.ศีลาวุธ ดำรงศิริ*

ในปัจจุบันขยะในกลุ่มอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการอุปโภคที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรและอายุการใช้งานที่สั้น (คอมพิวเตอร์ มือถือ) ขยะอิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้น มีโลหะที่สามารถนำมารีไซเคิลได้หลายชนิด เช่น ทองแดง ตะกั่ว และ เหล็ก เป็นต้น ทำให้เกิดการประกอบอาชีพการคัดแยกขยะในกลุ่มอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อนำโลหะออกมาขาย ทำให้ประเทศที่ร่ำรวยมักมีการส่งขยะเหล่านี้ออกสู่ประเทศที่ยากจนหลายประเทศโดยมีประเทศจีนเป็นผู้รับที่ใหญ่ที่สุด (Robinson, 2009) โดยในประเทศไทยก็มีกิจกรรมการคัดแยกขยะกลุ่มนี้อยู่ด้วยเช่นกัน

*นักวิจัย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

องค์ประกอบของขยะอิเล็กทรอนิกส์ค่อนข้างหลากหลายเนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละอย่างประกอบด้วยโลหะที่แตกต่างกันไปและแม้แต่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบเดียวกันแต่ใช้เทคโนโลยีต่างกันก็มีองค์ประกอบต่างกันอย่างมาก ดังนั้น การปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่จะขึ้นอยู่กับชนิดของขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยโลหะต่าง ๆ ที่พบได้ในขยะอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ อะเมริเซียม (Am) พลวง (Sb) สารหนู (As) แบเรียม (Ba) เบริลเลียม (Be) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) แกลเลียม (Ga) อินเดียม (In) ตะกั่ว (Pb) ลิเธียม (Li) ปรอท (Hg) นิกเกิล (Ni) ซีลีเนียม (Se) เงิน (Ag) ดีบุก (Sb) สังกะสี (Zn)รวมถึง โลหะหายากต่าง ๆ เช่น ทองคำ (Au) และ อิตเทรียม (Y) (Robinson, 2009; The Swedish Environmental Protection Agency, 2011) อย่างไรก็ตาม นอกจากการได้โลหะต่าง ๆ กลับเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลแล้ว การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ก็ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบอันเป็นพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน



ตัวอย่างชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้จากการคัดแยก
*ซ้าย*โลหะที่มีส่วนผสมของตะกั่ว *ขวา*ชิ้นส่วนทองเหลือง

ผู้ประกอบการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่แล้ว เป็นกลุ่มคนที่มีรายได้น้อย และมักใช้วิธีการที่ไม่เหมาะสม โดยกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นในชุมชนได้แก่ การแกะตลับหมึกของเครื่องพิมพ์ การแกะและการทุบจอคอมพิวเตอร์และจอทีวี การทุบตัดแงะอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ การตัดพลาสติกเป็นชิ้น การหลอมพลาสติก การเผาสายไฟเพื่อเอาทองแดง การเผาแผงวงจรด้วยเตาย่างเพื่อแยกโลหะมีค่า หรือแม้กระทั่งการละลายโลหะออกมาด้วยสารละลายกรด (Leung et al., 2006) ส่วนในประเทศไทยนั้น ส่วนมากเป็นการคัดแยกชิ้นส่วนที่ใช้งานได้กลับออกมาขายและคัดแยกชิ้นส่วนที่นำมาขายเป็นวัสดุรีไซเคิลได้ ซึ่งนอกจากการคัดแยกด้วยอุปกรณ์ทางกลเพื่อนำชิ้นส่วนโลหะต่าง ๆ ออกมาโดยตรงแล้ว ยังมีการคัดแยกเศษโลหะอย่างน็อตหรือตะปูออกมาจากเครื่องใช้ที่ทำด้วยไม้ เบาะหนัง หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกหรือการนำลวดทองแดงออกจากสายไฟด้วยการนำมากองเผาในที่โล่งอีกด้วย ซึ่งย่อมทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษต่างๆ เช่น polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polybrominateddiphenyl ethers (PBDEs) และ polychlorinated biphenyls (PCBs) เป็นต้นรวมทั้งโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งได้มีการศึกษาถึงระดับการปนเปื้อนในหลายพื้นที่โดยเฉพาะในประเทศจีน (Leung et al, 2006; Ha et al, 2009; Jun-hui and Hang, 2009; Tang et al, 2010; Luo et al, 2011; Li et al, 2011; Zhang et al, 2014 เพ็ญโฉมและคณะ, 2552) และพบการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิดต่างๆ ในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ การแพร่กระจายไปยังพื้นที่ข้างเคียง รวมถึงการปนเปื้อนผ่านห่วงโซ่อาหาร การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจถึงสถานการณ์การปนเปื้อนของโลหะหนักของชุมชนคัดแยกขยะเก่าแก่แห่งหนึ่ง ที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศไทย โดยเป็นส่วนหนึ่งของโครงการสำรวจและส่งเสริมคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมของชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในซอยเสือใหญ่อุทิศ กรุงเทพมหานคร

ลักษณะพื้นที่ศึกษา และความเป็นไปได้ในการปนเปื้อน

พื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตจตุจักร กรุงเทพมหานครโดยความเป็นมาของการเกิดชุมชนคัดแยกขยะนั้น เริ่มจากการที่ในอดีตพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ว่างที่ยังไม่มีการเข้ามาทำประโยชน์จากเจ้าของพื้นที่ จึงมีผู้คนจากต่างจังหวัดอพยพเข้ามาจับจองอยู่อาศัย โดยประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์จนกลายเป็นชุมชนเล็ก ๆ และค่อย ๆ ขยายตัวขึ้นจนกลายเป็นชุมชนขนาดใหญ่ที่มีการประกอบอาชีพหลักในการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ ในการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักไม่ต่างกับพื้นที่อื่น ๆ เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพื้นที่ศึกษานี้อยู่ในเขตกรุงเทพมหานครที่มีการขยายตัวของเมืองอย่างต่อเนื่อง พื้นที่นี้จึงถูกล้อมรอบด้วยเมืองและอยู่ใจกลางเขตเศรษฐกิจ เจ้าของพื้นที่เริ่มเข้ามาใช้ประโยชน์ในการประกอบกิจการต่าง ๆ มีการปรับพื้นที่ และก่อสร้างอาคารห้างร้านจนพื้นที่ดังกล่าวค่อย ๆ ถูกเปลี่ยนเป็นชุมชนเมืองหนาแน่น ในขณะที่ชุมชนที่อพยพเข้ามาประกอบการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ค่อย ๆ ถูกไล่ที่ออกไป ปัจจุบันยังคงมีผู้ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในพื้นที่ทั้งรายเล็กรายใหญ่ แต่สภาพพื้นที่โดยรวมมีสภาพเป็นชุมชนเมืองหนาแน่น มีหอพักขนาดเล็กใหญ่ ส่วนมากมีลักษณะเป็นอาคารชุด โดยที่กิจกรรมการเผาต่าง ๆ ที่เคยมีในอดีตถูกร้องเรียนต่อต้านคัดค้านเนื่องจากส่งกลิ่นรบกวนรุนแรงจนไม่อาจกระทำได้อีก อย่างไรก็ตามในการสำรวจและสอบถามในภาคสนาม พบว่ายังมีการเผาสายไฟขนาดเล็กอยู่บ้าง โดยเป็นสายไฟจากสายโทรศัพท์หรือวงจรคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งไม่มีกลิ่นรบกวน โดยมักเผากันเป็นกองเล็ก ๆ ในโรงรถ

นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนไปเป็นเมืองก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงการปรับเปลี่ยนพื้นดินที่ชัดเจนที่สุดอย่างหนึ่งคือ พื้นดินในพื้นศึกษาเกือบทั้งหมดมีการปรับพื้นเป็นคอนกรีตรวมถึงผู้ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ก็ปรับพื้นเป็นคอนกรีตทั้งหมด บางรายที่ไม่มีรายได้มากนัก ก็ใช้วิธีถมพื้นด้วยอิฐหินทรายที่เป็นของเสียจากกิจกรรมก่อสร้างที่ผสมกับปูนซีเมนต์อย่างหยาบ ๆ เพื่อปรับพื้นที่ให้สะดวกต่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ซึ่งจัดเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างจากพื้นที่ที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในกรณีศึกษาอื่นๆ ที่มักอยู่ชานเมือง หรือที่ทิ้งร้างห่างไกล ที่กิจกรรมต่าง ๆ จะเกิดขึ้นบนพื้นดินและเกิดการปนเปื้อนบนพื้นดินนั้น ๆ โดยตรง

สภาพพื้นที่โดยรวมของพื้นที่ศึกษาในส่วนที่ประกอบการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์
ในจุดที่เป็นแหล่งรวมของผู้ประกอบการรายย่อย

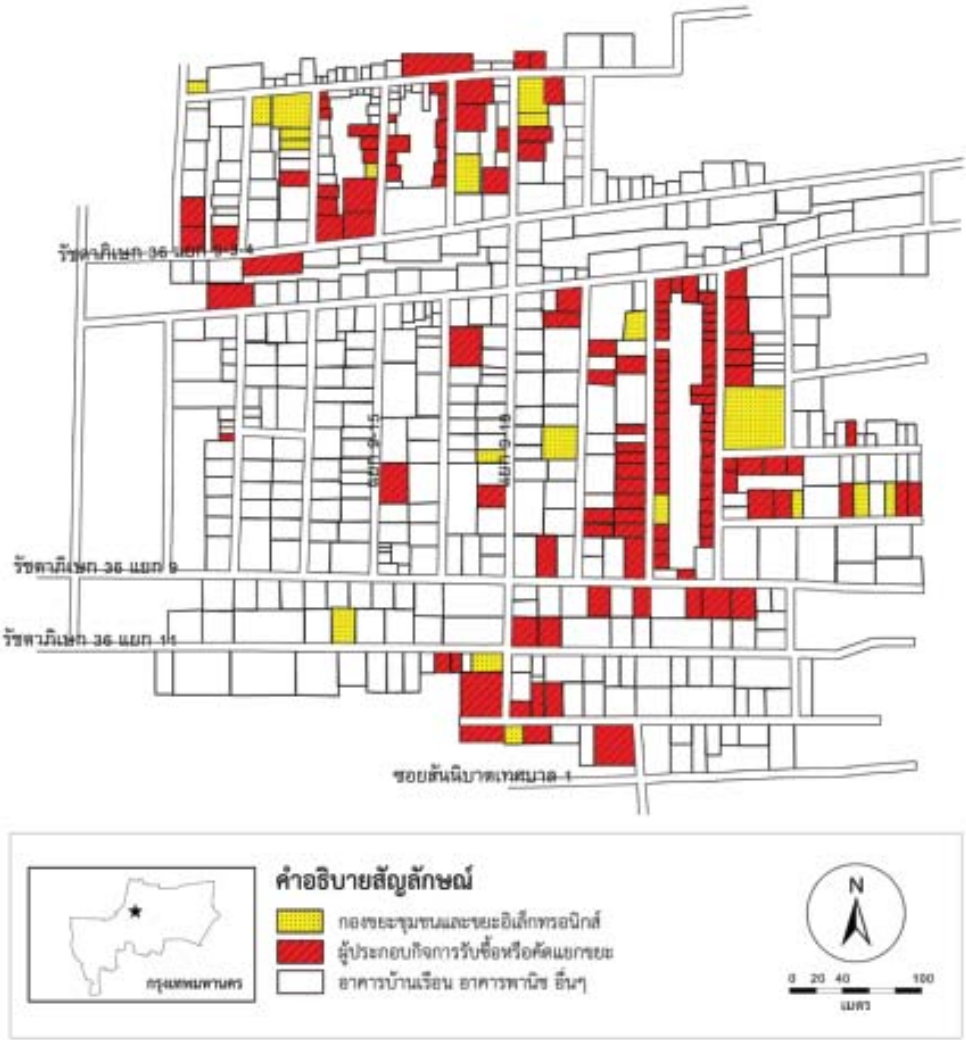
การกำหนดพื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน

เนื่องจากลักษณะพื้นที่ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การปนเปื้อนในพื้นที่ย่อมไม่เกิดขึ้นบนพื้นปูนลักษณะต่าง ๆ แต่เศษฝุ่น เถ้า หรือตะกอนต่าง ๆ ที่เกิดจากการคัดแยกจะถูกปัดกวาดหรือชะล้างไปทับถมกันในบริเวณโดยรอบตัวอาคาร หรือริมถนน หรือแม้แต่ถูกชะล้างลงสู่ระบบระบายน้ำซึ่งมีการจัดวางไว้ตามแนวถนน ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างในการศึกษานี้จึงเป็นไปในลักษณะการเก็บตัวอย่างแบบผสม โดยเก็บตัวอย่างดินและตะกอนจากหลาย ๆ จุดในแต่ละบริเวณที่กำหนดไว้มาผสมกัน โดยเก็บตัวอย่างผิวดินที่ความลึกไม่เกิน 10 เซนติเมตร ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท เพื่อนำมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ลักษณะ โดยแสดงบริเวณที่มีการเก็บตัวอย่างได้ดังรูปที่ 1 และ ตำแหน่งบริเวณจุดเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 2 ดังนี้

1) บริเวณพื้นที่นอกเขตกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์หมายถึง พื้นที่ที่ไม่มีการประกอบกิจกรรมการคัดแยกขยะ ในที่นี้ใช้รหัส A มีทั้งหมด 4 บริเวณ

2) บริเวณพื้นที่ประกอบกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์หมายถึง บริเวณพื้นที่ที่มีการประกอบกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้งเป็นเพิงไม้ขนาดเล็กจนถึงโรงงานขนาดใหญ่ อยู่ติดกันเป็นกลุ่ม ในที่นี้ใช้รหัส B โดยมีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 9 บริเวณ และ

3) กองขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์หมายถึง พื้นที่ทิ้งร้างที่ผู้คนในชุมชนเอาขยะชุมชนและซากของเหลือจากการแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มากองทิ้งไว้จนเป็นกองขยะขนาดใหญ่ ในที่นี้ใช้รหัส C โดยมีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 2 บริเวณ



รูปที่ 1 แสดงแผนผังพื้นที่ผู้ประกอบการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และกองขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์โลหะหนัก

การเตรียมตัวอย่างดินในขั้นตอนนี้ประยุกต์มาจาก Guideline on Laboratory Analysis of Potentially Contaminated Soils (NEPC, 2011) โดยการเตรียมตัวอย่างดินในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการแยกเศษหินกรวดหรือใบไม้และวัสดุอื่นๆที่ไม่ใช่ดินออกแล้วจึงนำตัวอย่างดินไปลดขนาดและผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยมีขั้นตอนคือ 1) แยกเศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดินออกโดยการคัดด้วยมือ 2) อบในตู้อบที่สะอาดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง 3) ลดขนาดตัวอย่าง ด้วยการบดด้วยครกเซรามิกเนื้อขาว (porcelain) ที่สะอาด 4) นำตัวอย่างที่บดแล้วไปร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด 2 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกเอาตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร และผสมให้เข้ากันและ 5) เก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักและทำการย่อยด้วยวิธีมาตรฐาน EPA 3051A โดยใช้ส่วนผสมของกรดไนตริกเข้มข้น (65%Nitric Acid) และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37% Hydrochloric Acid) และให้ความร้อนโดยใช้เครื่อง Microwave Digester จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometerรวม 7 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง โครเมียม นิกเกิล แมงกานีส ตะกั่ว และ สังกะสี แล้วคำนวณกลับให้เป็นปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในดินจะแสดงค่าเป็นปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (total metals) ของโลหะหนักแต่ละชนิด

ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก

ปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ประกอบกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และพื้นที่รอบนอก

ผลการตรวจวัดโลหะหนักในดิน แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งเห็นได้ชัดว่าปริมาณโลหะหนักในดินจากพื้นที่ประกอบกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (B) และกองขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ (C) นั้นมีค่าสูงกว่าบริเวณพื้นที่นอกเขตกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (A) อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี มีค่าสูงกว่าพื้นที่โดยรอบเป็นอย่างมาก ในขณะที่ โครเมียม นิกเกิลและแมงกานีส พบว่ามีค่าสูงกว่าไม่มากนัก ส่วนแคดเมียมนั้นพบเพียงเล็กน้อย และตรวจไม่พบในหลายบริเวณดังนั้น ผลการสำรวจนี้จึงบ่งชี้ได้อย่างชัดเจนถึงการปนเปื้อนจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ปนเปื้อน (11 บริเวณ) กับค่ามาตรฐานคุณภาพดิน

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตัวอย่างจากพื้นที่ประกอบกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (B) และกองขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ (C) รวม 11 บริเวณ โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อใช้บ่งชี้ถึงระดับการปนเปื้อนในพื้นที่ ได้แก่ มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25) และค่า Intervention Value ของประเทศเนเธอร์แลนด์ (Soil Remediation Circular 2009, Netherlands) ซึ่งใช้บ่งชี้ถึงระดับการปนเปื้อนที่จำเป็นต้องมีการพิจารณาต่อเพื่อการบำบัด

การเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย

ในส่วนของโลหะหนักที่ทำการศึกษา โลหะหนักที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพดินได้ คือ **ตะกั่ว** โดยพบว่าปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย ถึง 7 บริเวณจาก 11 บริเวณโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 86–4,556 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่ามาตรฐานฯ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วน**แคดเมียม**และ**แมงกานีส** นั้นพบว่ามีค่าไม่สูงนัก และไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดิน ส่วนโลหะหนักอื่น ๆ นั้นได้มีการกำหนดไว้ในรูปอื่น ๆ ได้แก่ **นิกเกิล**ที่กำหนดไว้ในรูปของเกลือนิกเกิลที่ละลายน้ำได้ (1,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในรูปที่ละลายน้ำได้) ซึ่งไม่ได้ทำการตรวจวัดในการศึกษานี้ แต่ก็สามารถอนุมานได้ว่ามีค่าไม่เกินข้อกำหนดเนื่องจากการตรวจวัดปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในดินมีค่าสูงสุดที่ 183 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในส่วนของ**โครเมียม**มาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทยกำหนดไว้เป็นค่าโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในการศึกษานี้พบว่า ค่าโครเมียมทั้งหมด

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในดินในพื้นที่ศึกษา ในหน่วย มิลลิกรัม (โลหะหนัก) ต่อ กิโลกรัม (ดิน)

หมายเลข	Cd	Cu	Cr	Ni	Mn	Pb	Zn
A1	<2	58	38	13	350	40	211
A2	<2	63	32	12	390	92	252
A3	<2	98	41	23	405	88	316
A4	<2	143	36	15	350	46	158
B1	<2	***301***	57	27	715	143	666
B2	2.4	***10,689***	77	53	466	***1,066***	***1,290***
B3	2.0	***6,665***	155	106	478	***611***	***2,987***
B4	5.7	***12,986***	103	110	618	***4,556***	***3,370***
B5	<2	***1,162***	60	51	470	***1,514***	***1,419***
B6	<2	***940***	78	65	525	***1,060***	***1,489***
B7	<2	***1,016***	90	61	548	260	***1,486***
B8	6.4	***12,243***	207	183	629	***608***	***4,258***
B9	<2	***214***	43	16	674	86	182
C1	2.8	***5,324***	66	115	542	***1,373***	***2,285***
C2	<2	***1,565***	30	31	509	368	***888***
มาตรฐาน-ไทย[C]	*37*	[A]–	[A]–	[B]–	*1,800*	***400***	–
มาตรฐาน-เนเธอร์แลนด์[D]	*13*	***190***	Cr III 180 Cr VI 78	*100*	[A]–	*530*	***720***

[A]*ไม่มีการกำหนดไว้ในมาตรฐาน;*

[B]*สำหรับนิกเกิล มาตรฐานของไทยกำหนดไว้เป็นนิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำ ซึ่งไม่ใช่กรณีที่ทำการวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้;*

[C]*มาตรฐาน–ไทย หมายถึง มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547);*

[D]*มาตรฐาน–เนเธอร์แลนด์Intervention Value หมายถึง ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่ใช้บ่งชี้ถึงการปนเปื้อนที่อยู่ในระดับ "รุนแรง" (NEPC, 2011)*

(โครเมียมทั้งหมดเป็นผลรวมของโครเมียมไตรวาเลนท์และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์) มีค่าไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงสามารถอนุมานได้ว่า โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ย่อมมีค่าไม่เกินมาตรฐานเช่นกัน ส่วน**ทองแดง**และ**สังกะสี**นั้น ไม่ได้มีกำหนดไว้ในมาตรฐาน

การเปรียบเทียบกับค่า Intervention Value

ค่า Intervention Value เป็นเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ (Soil Remediation Circular 2009, Netherlands) เป็นเกณฑ์ที่ใช้บ่งชี้ถึงระดับการปนเปื้อนที่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความเสี่ยงในขั้นตอนต่อไปเพื่อพิจารณาถึงความจำเป็นที่จะต้องทำการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนเหล่านั้น เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่า Intervention Value พบว่าบริเวณที่มีปริมาณ**ตะกั่ว**เกินมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทยทั้ง 7 บริเวณนั้นมีค่าสูงเกินกว่า Intervention Value (530 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ด้วยเช่นกัน สำหรับ**ทองแดง**นั้น แม้ไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ในกฎหมายของประเทศไทย แต่เมื่อเทียบกับ ค่า Intervention Value (190 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จะพบว่าในพื้นที่ประกอบกิจกรรมคัดแยกขยะนั้นมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์ทุกบริเวณ (11บริเวณ) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 214–12,986 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนของ**สังกะสี**นั้นเป็นไปในลักษณะเดียวกับทองแดงคือแม้ไม่ได้ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพดินของประเทศไทย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Intervention Value (720 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์ถึง 9 บริเวณ จาก 11 บริเวณ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 182–4,258 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับ**นิกเกิล** (Intervention Value 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่ามีค่าเกินกว่าเกณฑ์ 4 บริเวณ จาก 11 บริเวณ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 16–176 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับ**แคดเมียม**นั้นมีค่าไม่เกินเกณฑ์ ในขณะที่**แมงกานีส**ไม่ได้ถูกกำหนดไว้ในเกณฑ์ ส่วน**โครเมียม**นั้นเกณฑ์ Intervention Value ได้กำหนดแยกย่อยเป็นสองชนิด คือ โครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ซึ่งในที่นี้ไม่ได้ทำการตรวจวัดแยกกันจึงไม่อาจนำไปเปรียบเทียบได้ทั้งนี้ เมื่อนำผลการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ Intervention Value ของโลหะหนัก 4 ชนิดที่มีการปนเปื้อนสูงเกินเกณฑ์ ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และนิกเกิล โดยแบ่งระดับการปนเปื้อนออกเป็น 4 ช่วงคือ (1) ต่ำกว่าเกณฑ์ (2) สูงกว่าเกณฑ์ไม่เกิน 5 เท่า (3) สูงกว่าเกณฑ์ 5 เท่า ถึง 10 เท่า และ (4) สูงกว่าเกณฑ์เกิน 10 เท่า จะสามารถเห็นระดับการปนเปื้อนในจุดต่าง ๆ ได้ ดังรูปที่ 2

การพิจาณาค่าปริมาณโลหะหนักพื้นฐาน (Background Concentration) ในพื้นที่

การนำผลการวิเคราะห์โลหะหนักในดินตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินลักษณะต่าง ๆ นั้น ในทางวิชาการแล้วอาจไม่ได้บ่งบอกได้ชัดเสมอไปว่า หากมีปริมาณโลหะหนักชนิดใดเกินกว่ามาตรฐานแล้ว จะหมายความว่า ดินนั้น ๆ มีการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่นในกรณีนี้ คือ การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์หรือ อาจมีค่าสูงอยู่แล้วในพื้นที่ก็ได้เช่นกัน เช่น ในกรณีดินในพื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่ต่าง ๆ ในทางกลับกันการที่พบว่าตัวอย่างดินมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดิน อาจหมายความได้ว่า ดินนั้นไม่มีการปนเปื้อน หรือ มีการปนเปื้อนแต่ยังไม่เกินไปกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้น การจะระบุว่าดินในพื้นรอบนอกนั้นถูกปนเปื้อนโลหะหนักมาจากพื้นที่ที่ประกอบกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์หรือไม่ ก็ไม่อาจใช้เพียงตัวเลขจากค่ามาตรฐานข้างต้นมาทำการบ่งชี้ได้

การบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนอย่างความชัดเจนจึงมักต้องอาศัยเทคนิคอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักกับธาตุพื้นฐานของวัสดุต้นกำเนิดดิน เช่น เหล็ก และอลูมิเนียม หรือ การหาพื้นที่ใกล้เคียงที่แน่ใจได้ว่าไม่เคยถูกรบกวนหรือปนเปื้อนจากกิจกรรม ๆ ของมนุษย์มาก่อน หรือ การทบทวนเอกสารงานสำรวจต่าง ๆ ที่เคยทำในพื้นที่ตั้งแต่สมัยที่ยังไม่เคยมีกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์เข้าไปรบกวน หรือ จากพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อดูภาพรวมของพื้นที่

ในการศึกษานี้ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างดินจากพื้นที่ที่ประกอบกิจกรรมการคัดแยกขยะ (B) และพื้นที่กองขยะชุมชนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ (C) สามารถบ่งชี้ได้ถึงการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากพบปริมาณโลหะหนักสูงกว่าในพื้นที่ที่ไม่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (A) อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ยังคงมีอีกหนึ่งประเด็นที่น่าสนใจ คือ พื้นที่ที่ไม่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ก็อาจมีการปนเปื้อนโลหะหนักที่แพร่กระจายมาได้เช่นกัน เพียงแต่ยังไม่สูงเกินมาตรฐาน อย่างไรก็ตามดินในกรุงเทพมหานครมักเป็นดิน

รูปที่ 2 แสดงระดับการปนเปื้อนของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และ นิกเกิล

จากหลาย ๆ พื้นที่ซึ่งถูกนำมาใช้ในการปรับพื้นที่และการยกระดับพื้นที่จากการพัฒนาในรูปแบบเมือง จึงไม่มีตัวอย่างดินที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของดินที่ไม่มีการปนเปื้อนได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ การใช้เทคนิคหาความสัมพันธ์กับธาตุพื้นฐานของวัสดุต้นกำเนิดดิน อย่างเหล็ก หรืออลูมิเนียม ก็ไม่อาจใช้ได้เช่นกัน เนื่องจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ล้วนมีเหล็กและอลูมิเนียม (และอาจรวมถึงธาตุอื่น ๆ) เป็นองค์ประกอบเช่นกัน จึงต้องใช้วิธีการทบทวนผลการศึกษาจากงานศึกษาต่าง ๆ ที่เคยมีมา

การศึกษาลักษณะของดินและปริมาณโลหะหนักในดินของกรุงเทพมหานคร ได้เคยมีการศึกษาไว้โดย Wilcke และคณะ ซึ่งตีพิมพ์ไว้ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ. 2541 (ค.ศ.1998) โดยสำรวจจากตัวอย่างดินในกรุงเทพมหานครจากพื้นที่ต่าง ๆ รวม 30 ตัวอย่าง พบว่า ดินในกรุงเทพมหานครนั้นเป็นดินที่มีอายุน้อยหรือพึ่งเริ่มทับถมกันไม่นาน มีอายุตั้งแต่ 2–30 ปี ซึ่งจัดว่ามีค่าที่กว้างและยังมีลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกันหลายแบบ เนื่องจากการพัฒนาของเมืองทำให้เกิดการปรับพื้นที่โดยนำดินจากพื้นที่ต่าง ๆ เข้ามาถมบ่อยครั้ง ดินส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนดินเหนียว (Clayey loam) และทราย และมักพบเศษขยะต่าง ๆ ปะปนอยู่มาก ซึ่งคณะผู้ศึกษาเหล่านั้นได้แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นหลายบริเวณ ได้แก่ บริเวณที่มีอุตสาหกรรมตั้งอยู่บริเวณตัวเมือง และบริเวณชานเมือง และพบว่า ตัวอย่างดินในพื้นที่ในส่วนของเมืองมีปริมาณโลหะหนัก (แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี) สูงกว่าพื้นที่ชานเมืองไม่มากนักและไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดิน โดยได้แสดงค่าเฉลี่ยของโลหะหนักต่าง ๆ ในดินของกรุงเทพมหานครไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินจากพื้นที่ที่ไม่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในหน่วย มิลลิกรัม (โลหะหนัก) ต่อ กิโลกรัม (ดิน)

ตัวอย่างดิน	Cd	Cu	Cr	Fe	Ni	Mn	Pb	Zn
พื้นที่ศึกษานอกเขตกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	<2	90[A] 58–143[B]	37[A] 32–41[B]	17,281[A] 16,285–19,124[B]	16[A] 12–23[B]	374[A] 350–405[B]	67[A] 40–92[B]	234[A] 158–316[B]
ดินกรุงเทพฯ[C]	0.290 05–2.53	41.7 5.1–283	26.4 4.3–57.4	16,100 3,900–26,700	24.8 4.1–52.1	340 50–810	47.8 12.1–269.3	118 3–814
ดินภาคกลาง[D]	0.034 0–0.0727	1.82 0.698–2.9	0.385 0–1.92	na	1.38 0.372–2.57	na	0.925 0.186–1.39	5.41 0.987–14.4
ดินประเทศไทย[E]	0.030 01–0.17	14.1 0.16–43.6	25.2 0.14–79.4	na	13.5 0.1–43.9	na	17.5 0.1–54.6	23.9 0.1–71

[A] ค่าเฉลี่ย [B]ค่าต่ำที่สุด/สูงที่สุดที่พบในการตรวจวัด; [C]Wilckeและคณะ (1998); [D]Chinoimและ Sinbuathong (2010); [E]Zarcinasและคณะ (2004); na หมายถึง ไม่มีข้อมูล

นอกจากนี้ยังพบผลการสำรวจปริมาณโลหะหนักในดินในพื้นที่ภาคกลาง ที่ทำการศึกษาโดย Chinoimและ Sinbuathong (2010) โดยสำรวจปริมาณโลหะหนักในดินนาข้าวในพื้นที่ภาคกลางห่างจากกรุงเทพมหานครกว่า 100 กิโลเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ห่างจากอุตสาหกรรม และพบว่าไม่มีการทำกิจกรรมใด ๆ ที่มีการทิ้งหรือใช้สารเคมีที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของดินนอกจากการใช้ปุ๋ยคอก รวม 40 ตัวอย่าง (ตารางที่ 2) และ อีกการศึกษาหนึ่งของ Zarcinasและคณะ (2004) ได้ทำการสำรวจปริมาณโลหะหนักในดินในพื้นที่เกษตรกรรมต่างๆ ทั่วประเทศไทย รวม 318 ตัวอย่าง และได้นำเสนอค่าปริมาณโลหะหนักในดินของประเทศไทยไว้เป็นค่าพื้นฐาน (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นค่าสำหรับดินที่ไม่มีการปนเปื้อนจากอุตสาหกรรม แต่อาจมีการปนเปื้อนบ้างเล็กน้อยจากการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมักจากภาคอุตสาหกรรม สารกำจัดศัตรูพืช และมลภาวะทางอากาศ

เมื่อนำค่าจากพื้นที่ศึกษามาเปรียบเทียบกับค่าจากผลการศึกษาต่างๆ ข้างต้น (ตารางที่ 2) จะพบว่า ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษาบริเวณนอกพื้นที่ประกอบกิจกรรมคัดแยกขยะ มีค่าใกล้เคียงกับผลการสำรวจปริมาณโลหะหนักของดินในกรุงเทพมหานครอย่างมาก จึงสรุปได้ว่า ค่าปริมาณโลหะหนักในดินของพื้นที่นอกเขตกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีค่าเทียบได้กับผลการสำรวจดินในกรุงเทพฯ ในอดีต ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วมีค่าโลหะหนักสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ ในภาคกลางและสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทยซึ่งน่าจะเป็นผลจากการปนเปื้อนมลพิษต่าง ๆ ในกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเมือง และ เชื่อได้ว่าพื้นที่รอบนอกดังกล่าวยังไม่ถูกปนเปื้อนจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

การเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนกับผลการสำรวจจากงานศึกษาต่างๆ

ประเทศจีนเป็นประเทศหนึ่งที่มีการประกอบอาชีพนี้ในหลายชุมชน ซึ่งนอกจากจะรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์จากหลายพื้นที่เข้าไปแล้ว ยังมีการนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์จากประเทศอื่นๆ เข้ามาทำการคัดแยกอีกด้วย โดยชุมชนที่มีการประกอบกิจกรรมเหล่านี้ ได้แก่ เมือง Guiyu จังหวัด Guangdong (ทิศใต้ของประเทศจีน) ซึ่งเป็นเมืองที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์แหล่งใหญ่ที่สุด (20 ล้านตันต่อปี) และ เมือง Taizhou จังหวัด Zhejiang (ทิศตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศจีน) (2 ล้านตันต่อปี) นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ต่างๆ อีกหลายแหล่ง ในหลายประเทศ จากการทบทวนเอกสารการศึกษาและสำรวจการปนเปื้อนจากพื้นที่ต่างๆ หลายลักษณะพบว่าสามารถแบ่งพื้นที่ปนเปื้อนออกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) พื้นที่รอบบริเวณพื้นที่คัดแยก (ถนน และ พื้นที่ใกล้เคียง) ซึ่งมักพบการปนเปื้อนไม่สูง 2) พื้นที่ที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์บนพื้นที่นั้นมักพบการปนเปื้อนในระดับปานกลาง และ 3) พื้นที่ที่มีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแยก

โลหะมีค่าออกมาซึ่งมักพบการปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูงมาก โดยชนิดของโลหะที่ปนเปื้อนนั้นคล้ายกัน โดยมีโลหะหนักที่ปนเปื้อนสูง ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว และ สังกะสี ในขณะที่นิกเกิล กับโครเมียม พบในปริมาณที่ไม่มาก ในทางกลับกันกลับพบการปนเปื้อนของนิกเกิลสูงในบริเวณพื้นที่กองเผาขยะชุมชนรวมกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอาจมีที่มาจากแบตเตอร์รี่ต่าง ๆ ที่ปนมากับขยะชุมชน ทั้งนี้ มีตัวอย่างปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักต่าง ๆ ในพื้นที่ต่าง ๆ อาทิพื้นที่ที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ และพื้นที่ที่มีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์ (ตารางที่ 3) ซึ่งทำให้สังเกตได้ว่า การปนเปื้อนของพื้นที่ศึกษามีค่าสูงใกล้เคียงกับพื้นที่ที่มีการเผาขยะ ทั้งที่ดินตัวอย่างจากการศึกษานี้เป็นดินจากพื้นที่รอบบริเวณและพื้นที่คัดแยก ซึ่งน่าจะมีการปนเปื้อนอยู่ในระดับปานกลาง จากการพิจารณาข้อมูลต่าง ๆ และการสำรวจพื้นที่ คาดว่าค่าการปนเปื้อนที่สูงนั้น น่าจะมีสาเหตุจากการสะสมของโลหะหนักต่าง ๆ ที่เกิดจากการคัดแยกโดยการตัด เลื่อย หรือทุบโดยเครื่องมือต่าง ๆ ที่ร่วงหล่นลงพื้นที่คัดแยก และถูกปัดกวาดชะล้างโดยลมและฝน ออกจากพื้นคอนกรีตไปสะสมอยู่บนพื้นดินในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในบางตัวอย่างจากพื้นที่ปนเปื้อน ที่พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์ซ้ำจะพบปริมาณการปนเปื้อนของทองแดงและตะกั่วที่ต่างกันมากกับผลการวิเคราะห์เดิม ซึ่งเป็นลักษณะของการที่มีเศษโลหะหนักขนาดเล็ก (เช่น เศษเล็ก ๆ หรือฝุ่นของทองแดงและตะกั่ว) ปะปนอยู่ในตัวอย่างที่ตักขึ้นมาทำให้มีผลการตรวจวัดที่ต่างกัน

การแพร่กระจายออกสู่บริเวณโดยรอบ

มีการศึกษาถึงการแพร่กระจายของโลหะหนักออกสู่พื้นที่โดยรอบอยู่บ้าง (Li et al, 2011; Zhang et al, 2014) รวมถึง การปนเปื้อนสู่เรือกสวนไร่นา รอบบริเวณ (Hui et al, 2009; Luo et al, 2011; Li et al, 2011) การศึกษาการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำเนื่องจากกิจกรรมการเผาหรือกองทิ้งใกล้แหล่งน้ำ (Leunget al, 2006) ซึ่งพบการปนเปื้อนมากบ้างน้อยบ้าง หรือบางจุดก็ไม่พบการปนเปื้อน การปนเปื้อนโดยทั่วไปน่าจะเป็นไปในลักษณะของการพัดพาไปกับตะกอนดิน หรือไอหรือฝุ่นโลหะหนักจากการกองเผา มากกว่าจะเป็นการละลายไปกับน้ำ สำหรับในพื้นที่ศึกษานี้ พบว่า พื้นที่ที่อยู่นอกเขตกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ออกไปเพียง 100 เมตรก็ไม่พบการปนเปื้อนที่เด่นชัดแล้ว ดังนั้น การปนเปื้อนจากกิจกรรมการคัดแยกขยะจึงน่าจะจำกัดอยู่ในเพียงพื้นที่ที่มีการคัดแยกขยะโดยตรงเท่านั้นอย่างไรก็ตาม เศษโลหะและตะกอนดินที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ อาจถูกชะล้างเข้าสู่ระบบรวบรวมน้ำฝนที่มีแนวท่ออยู่ตลอดพื้นที่ และถูกปล่อยออกไปยังคลองที่อยู่บริเวณชุมชน และปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้เช่นกัน

สรุปผลการศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนัก

การประกอบกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เกิดการรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์จากแหล่งต่าง ๆ เข้ามาสะสมในพื้นที่ ซากขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหลือจากการคัดแยกมักถูกกองทิ้งไว้จนเป็นกองใหญ่จึงถูกรวบรวมส่งไปยังสถานที่กำจัด วิธีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลทำให้ดินในพื้นที่ศึกษาถูกปนเปื้อนด้วยโลหะหนักอย่างชัดเจน โดยไม่พบการแพร่กระจายที่เด่นชัดในตัวอย่างดินจากพื้นที่ที่ห่างออกไปราว 100 เมตร ทั้งนี้ โลหะหนักที่พบการปนเปื้อนสูงที่สุด ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ตามลำดับ พบการปนเปื้อนนิกเกิลไม่มากนักและพบโครเมียม แคดเมียม และแมงกานีส ไม่สูงนัก ทั้งนี้ ตะกั่วนั้นมีค่าสูงกว่าค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในส่วนของธาตุอื่น ๆ นั้นมีค่าไม่เกินมาตรฐานหรือไม่ได้ถูกกำหนดไว้ จึงได้นำไปทำการเปรียบเทียบกับค่า Intervention Value ของเนเธอร์แลนด์เพิ่มเติม ซึ่งใช้บ่งชี้ระดับการปนเปื้อนที่อาจจำเป็นต้องมีการบำบัด โดยพบว่าทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และนิกเกิล มีค่าเกินกว่าค่านี้อยู่หลายบริเวณ การนำผลการวิเคราะห์โลหะหนักจากพื้นที่โดยรอบไปเปรียบเทียบกับค่าจากผลการศึกษาต่าง ๆ ทำให้สรุปได้ว่าพื้นที่นอกเขตกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีระดับการปนเปื้อนโลหะหนักเท่า ๆ กับดินในสถานที่อื่น ๆ ในกรุงเทพมหานครและเชื่อได้ว่าพื้นที่รอบนอกดังกล่าวยังไม่ถูกปนเปื้อนจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อนำผลปริมาณโลหะหนักไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น ๆ จากพื้นที่ต่าง ๆ กัน พบว่า การปนเปื้อนของพื้นที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วงที่สูง ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุจากการสะสมของโลหะหนักต่าง ๆ ที่เกิดจากการคัดแยกโดยการตัด เลื่อย หรือทุบ โดยเครื่องมือต่าง ๆ ที่ร่วงหล่นลงพื้นที่คัดแยก และถูกปัดกวาดชะล้างโดยลมและฝน ออกจากพื้นคอนกรีต ไปสะสมอยู่บนพื้นดินในบริเวณใกล้เคียง

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ต่าง ๆ ในหน่วย มิลลิกรัม (โลหะหนัก) ต่อ กิโลกรัม (ดิน)

พื้นที่	ลักษณะดินตัวอย่าง	ค่าสถิติ	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr
เมือง Guiyu จังหวัด Guangdong ประเทศจีน	เศษดินจากพื้นที่กองเผา (ของเสียชุมชนผสมขยะอิเล็กทรอนิกส์) ความลึก 0–20 ซม.[A]	ค่าเฉลี่ย	12,700	480	3,500	1,100	320
	ดินจากรอบบริเวณโรงแยกขยะขนาดเล็ก ความลึก 0–20 ซม. [A]	ค่าเฉลี่ย	8	18	69	9	16
	ดินบริเวณกองซากพลาสติกเผาไหม้แล้ว[B]	ค่าเฉลี่ย	496	104	258	155	29
	ดินบริเวณกองซากตลับหมึกปริ้นเตอร์[B]	ค่าเฉลี่ย	712	190	na	87	75
เมือง Taizhou จังหวัด Zhejiang ประเทศจีน	ดินจากโรงแยกขยะขนาดใหญ่ความลึก 0–30 ซม. (15 ตัวอย่าง)[C]	ต่ำสุด	78	81	178	12	21
		สูงสุด	296	502	661	84	269
	ดินจากโรงแยกขยะขนาดเล็ก ความลึก 0–30 ซม. (18 ตัวอย่าง)[C]	ต่ำสุด	222	200	221	53	40
		สูงสุด	1,641	2,374	519	71	126
	ดินจากโรงคัดแยกขยะทิ้งร้าง ความลึก 0–15 ซม. (16 ตัวอย่าง)[D]	ต่ำสุด	2,059	4,032	5,353	na	696
		สูงสุด	2,826	8,547	6,741		821
	ดินจากพื้นที่ใกล้เคียงโรงคัดแยกขยะ ทิ้งร้าง ห่างออกไป 100 เมตร ความลึก 0–15 ซม. (32 ตัวอย่าง)[D]	ต่ำสุด	48	56	179	na	57
		สูงสุด	240	531	543		89
เมือง Longtang จังหวัด Guangdong ประเทศจีน	ดินจากพื้นที่กองเผา ความลึก 0–15 ซม. (11 ตัวอย่าง) [E]	ต่ำสุด	1,500	629	682	12.2	23.6
		สูงสุด	21,400	7,720	8,970	132	122
	ดินจากริมบ่อน้ำ ซึ่งมักมีการเผาและทิ้งซาก ความลึก 0–15 ซม. (10 ตัวอย่าง) [E]	ต่ำสุด	142	37.9	123	19	14
		สูงสุด	12,900	7,760	3,800	45	105
เมือง Bangalore ประเทศอินเดีย	ดินจากกองขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในโรงแยกขนาดใหญ่ (3 ตัวอย่าง) [F]	ต่ำสุด	62	90	126	na	46
		สูงสุด	4,790	2,850	2,530		160
	ดินจากโรงแยกขนาดเล็กในสลัม (7 ตัวอย่าง) [F]	ต่ำสุด	154	79	119	na	50
		สูงสุด	2,190	292	499		62
ตำบลโคกสะอาด อำเภอม้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย	ดินจากพื้นที่กองเผา[G]	ค่าเฉลี่ย	39,161	79,520	na	75	na
แขวงจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย (การศึกษาครั้งนี้)	ดินจากรอบบริเวณชุมชนคัดแยกขยะ ความลึก 0–10 ซม. (11 ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย	4,828	1,058	1,847	74	88
		ค่าต่ำสุด	214	86	182	16	30
		ค่าสูงสุด	12,986	4,556	4,258	183	207

หมายเหตุ : naหมายถึง ไม่มีข้อมูล; [A] Li et al, 2011; [B] Leung et al, 2006; [C] Tang et al, 2010; [D] Zhang et al, 2014; [E] Lou et al, 2011; [F] Ha et al, 2009; [G]เพ็ญโฉมและคณะ, 2552

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ประจำปีงบประมาณ 2556 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU-56-855-SD)

เอกสารอ้างอิง

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547

เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง, สุกรานต์ โรจนไพรวงศ์, วลัยพร มุขสุวรรณ, สุภาวดี ประทุมชาต. การศึกษาเชิงปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบและแสวงหาแนวทางการจัดการขยะอย่างมีส่วนร่วม กรณีตำบลโคกสะอาด อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์, 2552.

Chinoim, N., and Sinbuathong, N. Heavy metal contamination of soils from organic paddy fields in Thailand.19th World Congress of Soil Science: Soil Solutions for a Changing World,Brisbane, Australia, 1-6 August 2010.

Environmental Protection Agency. METHOD 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediment, sludges, soils, and oils. Revision 1, (February 2007)

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

Hui, Z.J., Hang, M. Eco-toxicity and metal contamination of paddy soil in an e-wastes recycling area. *Journal of Hazardous Materials* 165 (2009) 744-750.

Leung, A., Cai, Z.W., Wong, M.H. Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, Southeast China. *Journal of Material Cycles and Waste Management* (2006) 8:21-33.

Luo, C., Liu, C., Wang, Y., Liu, X., Li, F., Zhang, G., and 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.

MEPA (People's republic of china), Standards for Soil Environmental Quality of China, GB15618-1995, (1 March 1996)

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

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

The Swedish Environmental Protection Agency. Recycling and disposal of electronic waste. Health hazards and environmental impacts. Sweden :Naturvrdsverket, 2011.

Leung, A., Cai, Z.W., Wong, M.H. Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, Southeast China. *Journal of Material Cycles and Waste Management* (2006) 8:21–33.

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* (2011) 29: 727–738.

Tang, X., Shen, C., Shi, D., and Cheema, S.A. 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.

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.

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

Zhang, Q., Ye, J., Chen, J., Xu, H., Wang, C., and 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.