

การแพร่กระจายของโลหะหนักที่ปนเปื้อน จากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เข้าสู่ระบบระบายน้ำ

ดร.ศीलาวุธ ดำรงศิริ¹



¹ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ในปัจจุบันของเสียในกลุ่มอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการอุปโภคที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่สั้น (เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ) ของเสียอิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นมีโลหะที่สามารถนำมารีไซเคิลได้หลายชนิดรวมทั้งโลหะที่มีค่าอย่างทองแดงและโลหะกลุ่มแพลทินัม แต่ก็มีโลหะบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมหลายชนิดปะปนอยู่ด้วย หลายประเทศมักมีการส่งของเสียเหล่านี้ออกสู่ประเทศอื่นที่มีผู้รับซื้อ เพื่อคัดแยกนำชิ้นส่วนและโลหะออกมาขาย โดยมีประเทศจีนเป็นผู้รับที่ใหญ่ที่สุด (Robinson, 2009) ทั้งนี้ ประเทศไทยก็มีกิจกรรมการคัดแยกของเสียกลุ่มนี้อยู่ด้วยเช่นกัน

จากการทบทวนเอกสาร พบว่าในประเทศจีน การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนมากกระทำโดยผู้ประกอบการรายย่อย (เพ็ญโฉม และคณะ, 2552; สุจิตรา และคณะ, 2558) ที่นำมาแยกชิ้นส่วนโดยการแกะ ตัด บด ทบ เเผา เพื่อนำเอาชิ้นส่วน และโลหะมีค่าออกมาขายให้กับผู้รับซื้อ และทิ้งเศษซากอื่น ๆ ไว้แบบกองทิ้ง กิจกรรมต่าง ๆ นี้เองทำให้เกิดการปนเปื้อนจากสารเคมีต่าง ๆ และโลหะหนักที่มีอยู่ในขยะเหล่านั้น เข้าสู่ดินในพื้นที่ที่ประกอบกิจกรรมการคัดแยกขยะ และเกิดการแพร่กระจายออกไปสู่พื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบ หรืออยู่ท้ายน้ำของการพัฒนา อาทิ นาข้าว และแปลงผัก ทำให้เกิดการสะสมผ่านห่วงโซ่อาหาร และผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงผู้อยู่อาศัยในพื้นที่เหล่านั้น (Leung et al, 2006; Hui and Hang, 2009; Tang et al, 2010; Luo et al, 2011; Song and Li, 2014; Zheng et al, 2013) สำหรับในประเทศไทยนั้น การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมากเป็นการคัดแยกชิ้นส่วนที่ใช้งานได้กลับออกมาขาย และคัดแยกชิ้นส่วนที่นำมาขายเป็นวัสดุรีไซเคิลได้ ซึ่งนอกจากการคัดแยกด้วยอุปกรณ์ทางกลเพื่อนำชิ้นส่วนโลหะต่าง ๆ ออกมาโดยตรงแล้ว ยังมีการคัดแยกเศษโลหะอย่างนืดหรือตะปูออกมาจากวัสดุอื่น ๆ อย่างพลาสติกหรือสายไฟด้วยการนำมาเผาในที่โล่งอีกด้วย จากการสำรวจในโครงการการสำรวจและส่งเสริมคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมของชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในซอยเสือใหญ่อุทิศ กรุงเทพมหานคร ซึ่งดำเนินการโดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมนั้น ในเบื้องต้นพบการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิด (สีลาวัณย์ ดำรงศิริ, 2558) โดยพบทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และนิกเกิล เกินค่า Intervention Value ของประเทศเนเธอร์แลนด์ (Soil Remediation Circular 2009, Netherlands) บ่งชี้ถึงระดับการปนเปื้อนที่สูง และพบว่าการปนเปื้อนค่อนข้างจำกัดอยู่ในพื้นที่ที่มีกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ได้แพร่กระจายออกเป็นวงกว้าง โดยคาดว่าเป็นผลจากความแตกต่างทางลักษณะพื้นที่จากงานศึกษาอื่นที่พบการปนเปื้อนออกสู่พื้นที่โดยรอบ ซึ่งน่าจะเป็นจากการที่พื้นที่ซอยเสือใหญ่อุทิศเป็นพื้นที่ที่เกิดการพัฒนาไปเป็นเมือง ทำให้มีสิ่งปลูกสร้างที่บดบังกระแสลมแรง การพัดพาออกสู่ภายนอกโดยน้ำท่าเกิดขึ้นได้ยาก

เนื่องจากน้ำท่าจะถูกพัดพาลงสู่ระบบรวบรวมน้ำฝน ทำให้ตะกอนดินซึ่งปนเปื้อนไปด้วยโลหะหนักส่วนใหญ่ไม่เกิดการแพร่กระจายไปสู่พื้นที่อื่น ๆ

จากการทบทวนผลการศึกษา (Hui and Hang, 2009; Luo et al, 2011) พบว่า การศึกษารูปแบบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนนั้น พบว่า ส่วนมากอยู่ในรูปที่ชะละลายออกมาได้ยาก โดยเป็นที่น่าสังเกตว่าสัดส่วนของโลหะหนักในดินนาข้าวอยู่ในรูปแบบที่ชะละลายออกมาได้ง่ายมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ (Hui and Hang, 2009) ซึ่งอาจเกิดจากการที่โลหะหนักดังกล่าวเกิดการสะสมและเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม (Damrongsiri et al, 2016) เช่น สภาพที่น้ำท่วมขัง สารอินทรีย์ละลายน้ำ สภาวะไร้อากาศในดินที่น้ำท่วมขัง หรือผลข้างเคียงจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งชักนำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ จนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโลหะหนัก ทั้งนี้ รูปแบบของโลหะหนักในดินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษานี้ (เสือใหญ่อุทิศ) ได้ศึกษาและเผยแพร่ไปแล้วใน “ลักษณะการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพมหานคร” (ศีลาวุธ ดำรงศิริ, 2559) ซึ่งตีพิมพ์ไว้ในวารสารสิ่งแวดล้อมปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2559

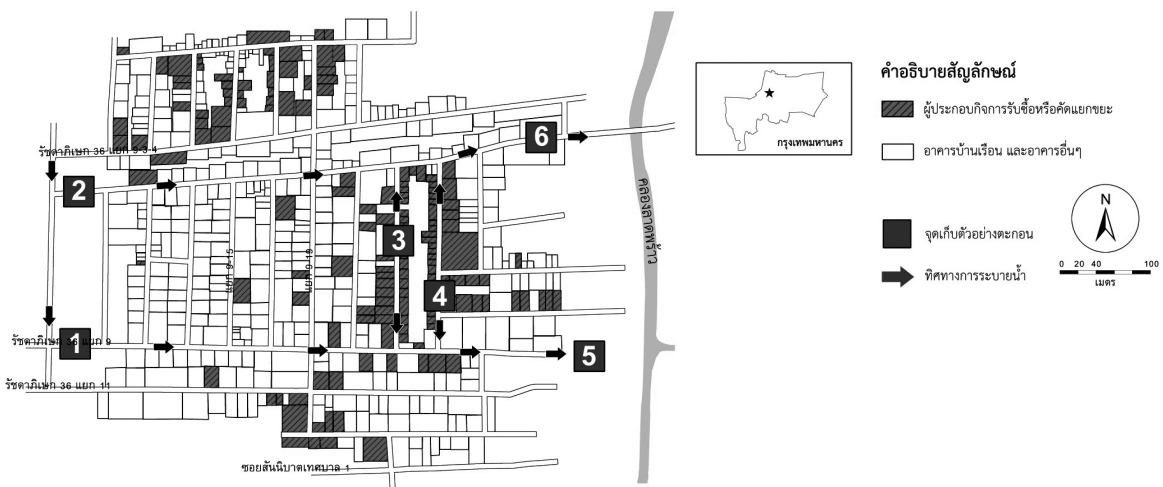
อย่างไรก็ตาม หากดินปนเปื้อนถูกพัดพาไปสะสมอยู่ในที่อ่ระบายน้ำ ดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักเหล่านั้นก็จะสะสมอยู่ในสภาพที่แวดล้อมไปด้วยน้ำสารอินทรีย์ ที่มีต้นกำเนิดมาจากน้ำเสียชุมชนและอ่อากาศ ซึ่งจะชักนำไปสู่สภาพไร้อากาศ (reductive environment) ที่มีสภาพแวดล้อมทางเคมีที่แตกต่างกับบนพื้นดินที่มีอ่อากาศ (oxidative environment) เป็นอย่างมาก กล่าวคือ ใน oxidative environment แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่ในระบบที่เป็น reductive environment เมื่อออกซิเจนที่เคยมีอยู่ถูกใช้จนหมดไป แบคทีเรียจะใช้สารประกอบอื่น ๆ เป็นตัวรับอิเล็กตรอน อาทิ ไนเตรท เหล็ก (Fe^{3+}) แมงกานีส (Mn^{4+}) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้สารประกอบเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนรูป ซึ่งส่งผลกระทบต่อรูปแบบของโลหะหนักในตะกอนดิน โดยเฉพาะเหล็กออกไซด์ (Fe^{3+}) และแมงกานีสออกไซด์ (Mn^{4+}) ซึ่งเป็นแหล่งสะสมหลักของโลหะหนัก (Wuana and Okieimen, 2011) มักจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเหล็กซัลไฟด์ และแมงกานีสซัลไฟด์ และจะทำให้เกิดการปลดปล่อยโลหะหนักที่สะสมอยู่ ในขณะที่ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) ซึ่งมักจับตัวกับโลหะหนักและทำให้เกิดการตกตะกอน ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่าง ๆ ในดินในสภาพไร้อากาศที่เกิดขึ้นจึงน่าจะทำให้รูปแบบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินบนพื้นดินที่ถูกพัดพาไปเกิดการเปลี่ยนแปลง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ส้ารวจการปนเปื้อนของโลหะหนักในที่อ่ระบายน้ำ และศึกษารูปแบบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากตัวอย่างตะกอนที่สะสมอยู่ในที่อ่ระบายน้ำในพื้นที่ชุมชนซอยเสือใหญ่อุทิศ ซึ่งเป็นการสำรวจเบื้องต้นที่จะนำไปสู่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและการปลดปล่อยโลหะหนักจากดินเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต

วิธีการศึกษา

ตัวอย่างตะกอนดินถูกเก็บรวบรวมจาก 6 จุด (ดังรูปที่ 1) โดยเป็นบ่อพักทางเหนือน้ำจากชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (จุดที่ 1 และ 2) บ่อพักในชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (จุดที่ 3 และ 4) และ คูน้ำ (จุดที่ 5) และบ่อพัก (จุดที่ 6) ซึ่งอยู่ทางท้ายที่รวบรวมน้ำจากชุมชนทั้งหมดก่อนไหลลงสู่คลองลาดพร้าว โดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินลึกอย่างน้อย 10 ซม. ตะกอนดินจะถูกรวบรวมใส่ภาชนะพลาสติกที่ปิดฝาสนิท และแช่เย็น เพื่อนำมาจัดเตรียมที่ห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างดินจากแต่ละจุด จะถูกร่อนด้วยวิธีร่อนแบบเปียก โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI 18 MΩ) ที่เป่าด้วยไนโตรเจนเพื่อไล่อากาศออก และนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนดินออกจากน้ำ ขั้นตอนทั้งหมดทำให้ได้ตัวอย่างเป็น 2 ชนิด คือ ตัวอย่างตะกอนดินละเอียด (0.063-2 มม.) และ ตัวอย่างตะกอนดินหยาบ (> 2 มม.)

จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้ไปย่อยด้วยกรด(US-EPA 3050B) เพื่อหาปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (total concentration) และนำตัวอย่างจากจุดที่ 1 3 และ 5 ไปสกัดรูปแบบของ ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ด้วยวิธีการสกัดลำดับส่วนแบบ European Community Bureau of Reference (BCR) การสกัดแบบ BCR จะใช้สารละลายต่าง ๆ ในการสกัดแต่ละขั้นตอน เพื่อละลายโลหะในรูปต่าง ๆ ออกมา ได้แก่ 1) โลหะหนักในรูปที่ชะละลายออกมาได้ง่าย เช่น ละลายออกมาเมื่อผสมดิวต์ไอออนในน้ำเปลี่ยนแปลงไปหรือละลายออกเมื่อน้ำเป็นกรดอ่อน ๆ 2) โลหะหนักในรูปที่จับอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ซึ่งโลหะหนักกลุ่มนี้จะละลายออกมาเมื่ออยู่ภายใต้ภาวะไร้อากาศ 3) โลหะหนักในรูปที่จับอยู่กับวัตถุอินทรีย์และซิลไฟต์ ซึ่งจะละลายออกมาเมื่อวัตถุอินทรีย์ถูกย่อยสลายหรือซิลไฟต์เกิดเปลี่ยนรูปเป็นซิลเฟตเมื่อสัมผัสกับอากาศ เป็นต้น และ 4) โลหะหนักในรูปคงตัว ซึ่งเหลือจากการสกัดทั้ง 3 ลำดับก่อนหน้า โลหะหนักในส่วนนี้จะสกัดออกมาโดยการย่อยด้วยกรดเข้มข้นและความร้อนด้วยวิธีมาตรฐาน USEPA 3050B โลหะในรูปคงตัวจัดได้ว่าเป็นโลหะหนักที่ไม่สามารถถูกชะละลายออกมาภายใต้สภาพแวดล้อมทั่วไป



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินท่าระบายน้ำในชุมชนเสื่อใหญ่อุทิศ

ผลการศึกษา

ลักษณะของตัวอย่างตะกอนดิน

ตัวอย่างตะกอนดินจากจุดที่ 1 2 5 และ 6 มีสีดำ มีกลิ่นโคลนแบบปกติ มีเศษผงปะปน ส่วนบ่อพักในจุดที่ 3 และ 4 ซึ่งอยู่ในชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์นั้น พบว่าอยู่ในสภาพอุดตัน เนื่องจากไม่ได้รับการลอกท่อเหมือนบริเวณอื่น ๆ มีตะกอนดินสะสมอยู่จนล้นแนวท่อ ตะกอนในท่อ ประกอบไปด้วยดิน เศษใบไม้ และเศษวัสดุต่าง ๆ อย่างพลาสติก ทองแดง ลวด และเศษวัสดุอื่น ๆ มีสีดำ มีกลิ่นเหม็นของสารระเหยรุนแรง ตัวอย่างสภาพของจุดเก็บตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 2

ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดิน



ก) จุดที่ 1



ค) จุดที่ 4



ข) จุดที่ 3



ง) จุดที่ 5

รูปที่ 2 ภาพแสดงบ่อพักที่เป็นจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน (mg/kg)

จุดเก็บตัวอย่าง	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี
1	234	74	814
2	26	21	156
3	3,641	34,976	3,230
4	2,030	506	3,471
5	236	224	1,053
6	146	93	440
ค่าพื้นฐานของดิน*	5.1-283	12-269	3-814

*ช่วงค่าพื้นฐานของดิน ประมาณจาก Damrongsiri et al. (2016) และ Wilcke et al. (1998)

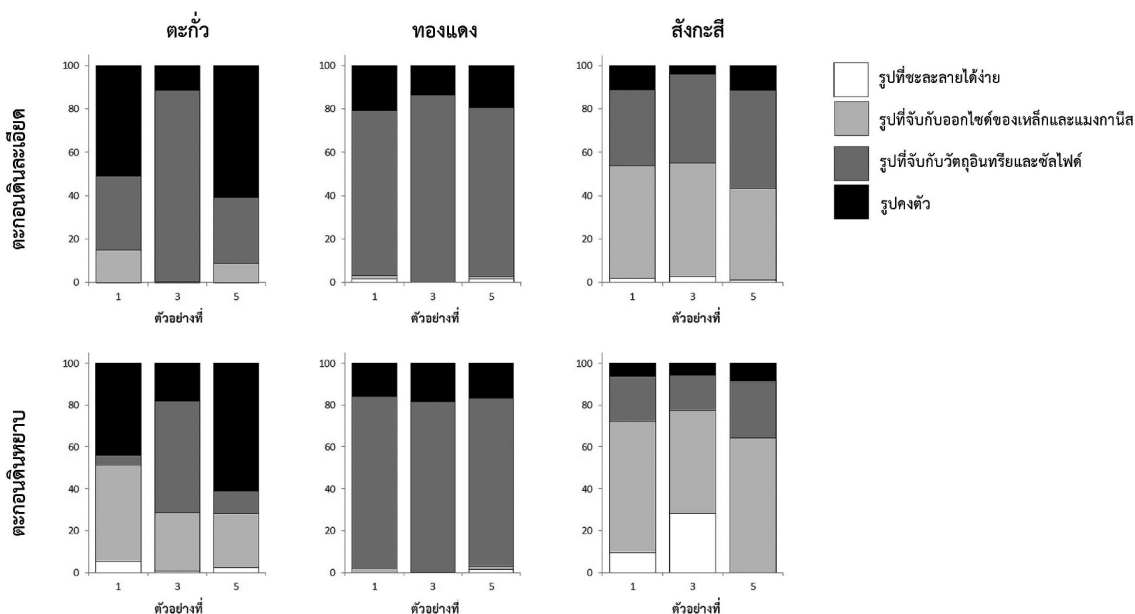
ผลการตรวจสอบพบความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะหนัก (total concentration) พบความเข้มข้นของโลหะหนัก ดังตารางที่ 1 ซึ่งหากพิจารณาโดยใช้ผลการตรวจสอบดินจากการศึกษาในพื้นที่ (Damrongsiri et al, 2016) และดินในกรุงเทพฯ (Wilcke et al., 1998) เป็นช่วงค่าพื้นฐาน พบว่าค่าโลหะหนักทั้งสามในจุดที่ 1 และ 2 ที่อยู่เหนือน้ำซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นตะกอนดินที่ไม่ถูกปนเปื้อนจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าพื้นฐานซึ่งเป็นการศึกษาในดิน

ส่วนค่าโลหะหนักทั้งสามในตะกอนดินจากจุดที่ 3 และ 4 มีค่าสูงกว่าค่าในจุดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด และสูงกว่าค่าพื้นฐานมาก แสดงให้เห็นว่า ตะกอนดินในท่าระบายน้ำในบริเวณที่มีการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่างไม่เหมาะสมถูกปนเปื้อนไปด้วยโลหะหนักตามที่ได้ตั้งข้อสังเกตไว้ โดยน่าจะเกิดจากการสะสมของเศษดินที่ปนเปื้อนมาแล้ว และเศษวัสดุต่าง ๆ จากขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกพัดพามากับน้ำฝนซึ่งเกิดการฟุ้งปนเปื้อนสะสมอยู่ในดิน โดยในระหว่างการร่อนแยกขนาดดินพบเศษวัสดุจำนวนมาก เช่น เศษลวด สายไฟ เส้นลวดทองแดง แผงวงจร เป็นต้น และยังส่งกลิ่นเหม็นของน้ำมันต่าง ๆ อย่างรุนแรง

ส่วนจุดที่ 5 และ 6 ซึ่งอยู่ท้ายน้ำพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับดินที่ไม่ปนเปื้อนเช่นกัน ยกเว้นสังกะสีในตัวอย่างตะกอนจากจุดที่ 5 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงกว่าดินที่ไม่ปนเปื้อน ซึ่งในที่นี่ อาจพิจารณาได้ว่าการปนเปื้อนเล็กน้อย ทั้งนี้ การที่ไม่พบการปนเปื้อนอย่างเด่นชัดในตะกอนดินที่อยู่ท้ายน้ำ อาจเป็นผลจากการที่ท่าระบายน้ำในชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในสภาพุดตันมานานไม่ได้รับการขุดลอก ในขณะที่บ่อพักในจุดที่ 6 และคูคลองในจุดที่ 5 นั้นได้รับการขุดลอกเป็นระยะเนื่องจากเป็นทางหลักที่น้ำจะระบายลงสู่คลอง ทำให้ไม่เกิดการสะสมของการปนเปื้อน และยังไม่มิดินปนเปื้อนไหลไปเติมมากนักเนื่องจากการอุดตันของท่อ สอดคล้องกับการบอกกล่าวของผู้อยู่อาศัยในบริเวณที่มีการคัดแยกว่าเกิดน้ำท่วมทุกครั้งที่ฝนตกเนื่องจากท่าระบายน้ำอุดตัน ซึ่งมีปัญหามานานแล้ว

รูปแบบของโลหะหนักในตะกอนดิน

การสกัดลำดับส่วนด้วยวิธีแบบ BCR กับตัวอย่างที่ 1 (เหนือน้ำ) และ 5 (ท้ายน้ำ) ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “ตะกอนดินไม่ปนเปื้อน” และ ตัวอย่างที่ 3 (ตัวอย่างปนเปื้อน จากพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “ตะกอนดินปนเปื้อน” โดยทดลองกับดินในส่วนที่หยาบและส่วนที่ละเอียด ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงไว้ในหน่วยร้อยละ



รูปที่ 3 รูปแบบของโลหะหนักที่พบในตะกอนดินส่วนละเอียด และส่วนหยาบ

ตะกั่ว ในตะกอนดินละเอียดส่วนมากอยู่ในรูปที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์ และรูปคงตัว โดยตะกั่วในตะกอนดินปนเปื้อนอยู่ในรูปที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์เกือบทั้งหมด ส่วนในตะกอนดินหยาบ ตะกั่วในดินไม่ปนเปื้อนส่วนมากอยู่ในรูปคงตัวและจับกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ส่วนในดินปนเปื้อน อยู่ในรูปที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์เป็นส่วนมาก โดยรวมแล้วมีสัดส่วนของรูปที่จับกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสมากกว่าดินละเอียด

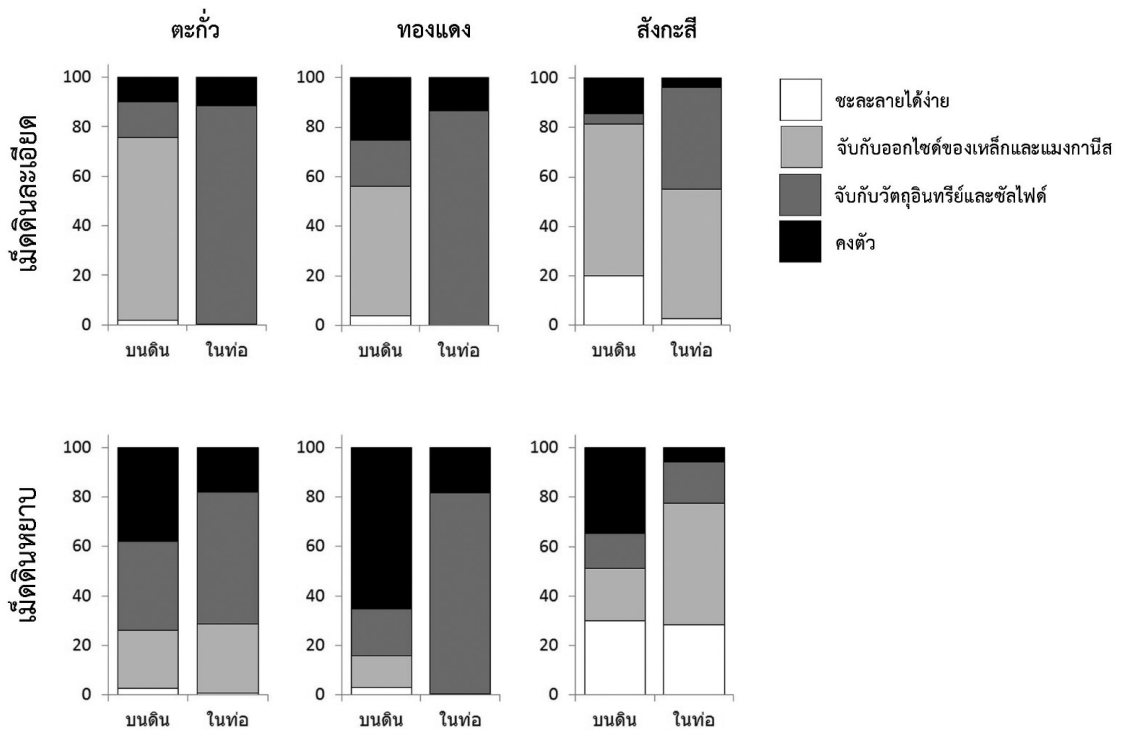
ทองแดง ในตะกอนดินปนเปื้อนและตะกอนดินไม่ปนเปื้อน ทั้งในตะกอนดินละเอียดและหยาบ ทั้งหมดมีรูปแบบคล้ายกันโดยอยู่ในรูปที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์เป็นหลัก และอยู่ในรูปคงตัวเล็กน้อย

สังกะสี ทั้งในตะกอนดินปนเปื้อนและตะกอนดินไม่ปนเปื้อนมีรูปแบบไม่ต่างกันนัก โดยในตะกอนดินละเอียดส่วนมากอยู่ในรูปที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์ และรูปที่จับกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ส่วนในตะกอนดินหยาบมีรูปแบบคล้ายกับในดินละเอียดแต่อยู่ในรูปที่จับกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสมากกว่า และเป็นที่น่าสังเกตว่ามีสัดส่วนของรูปที่ชะละลายได้ง่ายปะปนอยู่มากกว่า

ทั้งนี้ การวิเคราะห์หาปริมาณสัดส่วนโลหะหนักในรูปแบบต่างๆ โดยวิธีการสกัดลำดับส่วน นั้น จะให้ค่าสัดส่วนของโลหะหนักในรูปแบบที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์น้อยกว่าความเป็นจริง ในขณะที่จะให้ค่าโลหะหนักในรูปแบบที่จับกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสมากกว่าความเป็นจริง ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากลักษณะสมบัติของสารสกัดเอง เนื่องจากสารสกัดที่ใช้ในการสกัดโลหะหนักในรูปแบบที่จับกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส จะไปสกัดโลหะหนักในรูปแบบที่จับกับซัลไฟด์บางส่วนออกมาด้วย (Ngiam et al, 2001; Peltier et al., 2005; Yu et al., 2001) โดยเฉพาะสังกะสี ซึ่งหมายความว่า ในความเป็นจริงตัวอย่างจากท่อระบายน้ำเหล่านี้จะมีสัดส่วนของโลหะหนักในรูปแบบที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์มากกว่าที่แสดงไว้ในการศึกษา

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาดินปนเปื้อน (ศิลาวุธ ดำรงศิริ, 2559; Damrongisiri et al, 2016) พบว่า รูปแบบของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีที่พบในตะกอนดินจากท่อเหล่านี้ มีความแตกต่างกับรูปแบบที่พบในดินจากพื้นดินมาก โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ในตัวอย่างดินที่ปนเปื้อน และในตัวอย่างดินที่สะสมในท่อระบายน้ำ (การศึกษานี้) ได้ดังรูปที่ 4 ซึ่งโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่า โลหะหนักในดินที่เคยอยู่บนพื้นดิน เมื่อถูกพัดพาออกไปยังท่อระบายน้ำแล้ว จะมีรูปแบบที่เปลี่ยนไปโดยมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแบบที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับที่พบในตะกอนดินที่อยู่ในสภาพไร้อากาศในการวิจัยในพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งไม่ได้ปนเปื้อนจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Peltier et al., 2005; Clark et al., 2000; Yu et al., 2001) ซึ่งให้เห็นว่าการกระจายตัวของโลหะหนักเป็นไปในลักษณะเดียวกันหากอยู่ในสภาพแวดล้อมคล้ายกัน โดยการที่พบโลหะหนักในรูปแบบที่จับกับวัตถุอินทรีย์และซัลไฟด์มากกว่าตัวอย่างจากบนพื้นดิน

จากการตรวจวัด Oxidation reduction potential (ORP) พบว่าดินตัวอย่างหมายเลข 3 มีค่า ORP -172 mV ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของเหล็กออกไซด์และเกิดซัลไฟด์ได้ (ORP น้อยกว่า -100) และพบซัลไฟด์มากกว่า 10,000 mg/kg ดังนั้น โดยกลไกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น น่าจะเกิดจากการที่เมื่อดินปนเปื้อนสะสมอยู่ในสภาพไร้อากาศอย่างในท่อระบายน้ำ ปฏิกิริยาทางชีวเคมีจะทำให้เหล็กออกไซด์ของเหล็กเปลี่ยนรูปไป (เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ถูกรีดิวซ์เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+})) ทำให้โลหะหนักที่สะสมอยู่บนออกไซด์ของเหล็กหลุดออกมา และเมื่อสภาพไร้อากาศดังกล่าวยังคงดำเนินต่อไป ซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) โลหะหนักที่มีหลุดออกมาจึงเกิดการจับตัวกับซัลไฟด์และตกตะกอนเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว โดยค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา ($\log K_{sp}$) ของซัลไฟด์กับทองแดง จะมีค่าต่ำที่สุด และค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาของซัลไฟด์กับตะกั่ว และสังกะสี จะสูงกว่า ตามลำดับ ($\log K_{sp} CuS = -35.96$, $\log K_{sp} PbS = -28.05$, $\log K_{sp} ZnS = -21.97$, $\log K_{sp} FeS = -16.84$) โดยค่า $\log K_{sp}$ ที่ติดลบมากกว่า บ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยาและตกตะกอนได้ง่ายกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบ



รูปที่ 4 สัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่าง ๆ ในดินบนพื้นดิน และตะกอนดินจากท่อระบายน้ำ

สรุป

การศึกษาเบื้องต้นนี้ทำให้ทราบว่า ตะกอนดินในท่อระบายน้ำในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์มีการปนเปื้อนโลหะหนักอยู่จริง ตามที่ได้คาดการณ์เอาไว้ ซึ่งเกิดจากการพัดพาเอาเศษขยะอิเล็กทรอนิกส์และดินปนเปื้อนลงไปสะสมในท่อระบายน้ำ และพบว่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนจะอยู่ในรูปที่จับกับวัตถุอินทรีย์ และซิลไฟต์มากกว่า ที่พบในดินปนเปื้อนที่อยู่บนพื้นดิน และเมื่อพิจารณาร่วมกับการศึกษาอื่น (ศิลาวุธ ดำรงศิริ, 2559; Damrong Siri et al, 2016) ทำให้สามารถเห็นถึงรูปแบบการแพร่กระจายได้ โดยโลหะหนักที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เริ่มต้นจากเศษวัสดุต่าง ๆ จะถูกกักตร้อนชะล้าง และไปจับกับวัสดุเนื้อดินตามธรรมชาติ ได้แก่ คาร์บอนเนต ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส และวัตถุอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งเมื่อถูกชะล้างลงไปสะสมอยู่ในท่อระบายน้ำ จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะพบว่าโลหะหนักในรูปที่จับกับซิลไฟต์จะเด่นชัดขึ้น ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับผลการศึกษาในตะกอนดินในสภาพพไร้อากาศในพื้นที่ต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้การสนับสนุนงบประมาณจากโครงการแผนพัฒนาวิชาการ จุฬาฯ สร้างเสริมพลังจุฬาฯ ก้าวสู่ศตวรรษที่ 2



เอกสารอ้างอิง

- เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง, สุภรนต์ โจรจนไพรวงศ์, วลัยพร มุขสุวรรณ, สุภาวดี ประทุมชาติ. การศึกษาเชิงปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบและแสวงหา แนวทางการจัดการขยะอย่างมีส่วนร่วม กรณีตำบลโคกสะอาด อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์. 2552.
- สุจิตรา วาสนาดำรงดี, วรณี พงศ์ถาวร, ปณิตา ตันวัฒน์, อัจฉริยา สุริยะวงศ์, ศีลาวุธ ดำรงศิริ. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสำรวจและส่งเสริมคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมของชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในซอยเสือใหญ่อุทิศ กรุงเทพมหานคร. 2558.
- ศีลาวุธ ดำรงศิริ. การปนเปื้อนโลหะหนักในดินในพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. วารสารสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 19 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2558: 27-39.
- ศีลาวุธ ดำรงศิริ. ลักษณะการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. วารสารสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2559: 1-10.
- Clark, M.W., Davies-McConchie, F., McConchiw, D., Birch, G.F. Selective chemical extraction and grain size normalization for environmental assessment of anoxic sediments: validation of an integrated procedure. *The Science of the Total Environment*. 258 (2000): 149–170.
- Robinson, B.H. E-waste: An assessment of global production and environmental impact. *The Science of the Total Environment*. 408 (2009): 183–191.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- Song, Q., and Li, J. Environmental effects of heavy metals derived from the e-waste recycling activities in China: A systematic review. *Waste Management*. 34 (2014): 2587–2594.
- 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.
- Damrongsiri, S., Vassanadumrongdee, S., Tanwattana, P. 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 (2016):17026–17034.
- Wilcke, W., Müller, S., Kanchanakool, N., Zech, W. Urban soil contamination in Bangkok: heavy metal and aluminium partitioning in topsoils. *Geoderma*. 86 (1998):211–228.
- Wuana, R.A., Okieimen, F.E. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*. Article ID 402647 (2011): 1-20.
- Yu, K.C., Tsai, L.J., Chen, S.H., Ho, S.T. Chemical binding of heavy metals in anoxic river sediments. *Water Research*. 35 17 (2001): 4086-4094.
- Peltier, E., Dahl, A.L., and Gaillard, J.F. Metal speciation in anoxic sediments: when sulfides can be construed as oxides. *Environmental Science & Technology*. 39 (2005): 311-316.
- Ngiam, L.S., and Lim, P.E. Speciation patterns of heavy metals in tropical estuarine anoxic and oxidized sediments by different sequential extraction schemes. *The Science of the Total Environment*. 275 (2001): 53-61.
- Yekta, S.S., Gustavsson, J., Svensson, B.H., Skyllberg, U. Sulfur K-edge XANES and acid volatile sulfide analyses of changes in chemical speciation of S and Fe during sequential extraction of trace metals in anoxic sludge from biogas reactors. *Talanta*. 89 (2012): 470– 477.