สถานการณ์ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์

ดร.สุจิตรา วาสนาดำรงดี*

ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างรวดเร็ว มีการประดิษฐ์อุปกรณ์ใช้สอยนานาชนิดออกสู่ตลาดของผู้บริโภคจนทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดกลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตของผู้คนโดยเฉพาะในเมือง ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศประกอบกับการแข่งขันทางการตลาดที่เข้มข้นได้ส่งผลให้ราคาของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ลดต่ำลงจนผู้คนทุกระดับสามารถซื้อหาเป็นเจ้าของได้ ตัวอย่างที่ชัดเจน คือ โทรศัพท์มือถือซึ่งปัจจุบันนี้ ประชาชนทุกวัยทุกระดับสามารถซื้อหาเป็นเจ้าของกันแทบทุกคน แม้สังคมจะได้ประโยชน์จากการใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์แต่น้อยคนนักที่จะนึกถึงช่วงเวลาที่เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานนั้นเสื่อมสภาพ หมดอายุการใช้งานหรือไม่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้งานอีกต่อไปแล้ว ผู้บริโภคจะจัดการกับสิ่งเหล่านี้ให้ถูกต้องได้อย่างไรบทความนี้ได้ประมวลและเรียบเรียงผลการศึกษาเกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหา “ขยะอิเล็กทรอนิกส์” ในแง่ปริมาณ ความเป็นอันตรายและงานวิจัยการปนเปื้อนโลหะหนักในดินที่พบในต่างประเทศและในประเทศไทยเพื่อเป็นข้อมูลให้กับประชาชนและผู้กำหนดนโยบายได้ตระหนักถึงประเด็นปัญหานี้และช่วยกันสนับสนุนมาตรการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในระยะยาว

*นักวิจัย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีเมล์: sujitra20@gmail.com

สถานการณ์ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ

เมื่อเอ่ยถึงคำว่า "ขยะอิเล็กทรอนิกส์" หลายคนอาจสงสัยว่าหมายถึงอะไร บางคนอาจจะคิดไปถึงอีเมล์ขยะ แต่หากอธิบายอย่างง่าย ๆ "ขยะอิเล็กทรอนิกส์" คือ ของเสียจำพวกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เสื่อมสภาพหรือไม่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้งานซึ่งครอบคลุมผลิตภัณฑ์เกือบทุกประเภทที่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงานนั่นเอง ประเทศไทยยังไม่ได้มีการบัญญัติศัพท์คำนี้อย่างเป็นทางการ เราจึงใช้คำที่ต่างประเทศนิยมใช้กัน คือคำว่า "ขยะอิเล็กทรอนิกส์" (electronic waste) หรือ "อีเวสต์" (e-waste) หรือคำที่ใช้อย่างเป็นทางการในทางกฎหมาย คือ "ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์" (Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE) ซึ่งปรากฏในกฎระเบียบของสหภาพยุโรป WEEE Directive ย่อมาจาก Directive2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (European Commission, 2003)

หากดูว่าขยะอิเล็กทรอนิกส์ครอบคลุมผลิตภัณฑ์ใดบ้าง กฎระเบียบของสหภาพยุโรปได้แบ่งผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 10 กลุ่ม ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีการเก็บรวบรวมได้มากที่สุด คือ กลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนขนาดใหญ่ (ร้อยละ 49.07) รองลงมา คือ กลุ่มอุปกรณ์เพื่อความบันเทิงของผู้บริโภค โดยเฉพาะโทรทัศน์ (ร้อยละ 21.10) และกลุ่มอุปกรณ์สารสนเทศและสื่อสาร (ร้อยละ 16.27) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ แม้ขยะอิเล็กทรอนิกส์มีขอบเขตกว้างมากแต่ในทางกฎหมายรัฐบาลอาจจะเลือกควบคุมผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์บางประเภทหรือบางกลุ่มก่อนโดยจะเลือกจากประเภทหรือกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคถือครองมากที่สุดและมีสารอันตรายในผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีการจัดการอย่างถูกต้อง เช่น โทรทัศน์และคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในสหภาพยุโรป

กลุ่มผลิตภัณฑ์	สัดส่วนที่เก็บรวบรวมได้ (%)
1. เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนขนาดใหญ่ (ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า เตาไมโครเวฟ ฯ)	49.07
2. เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนขนาดเล็ก (เครื่องดูดฝุ่น เตารีด เครื่องปิ้งขนมปัง เครื่องชงกาแฟ ฯ)	07.01
3. อุปกรณ์สารสนเทศและสื่อสาร (คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ โทรศัพท์มือถือ ฯ)	16.27
4. อุปกรณ์เพื่อความบันเทิงของผู้บริโภค (โทรทัศน์ ชุดเครื่องเสียง ฯ)	21.10
5. อุปกรณ์ให้แสงสว่าง (หลอดไฟทุกชนิด ฯ)	2.40
6. อุปกรณ์ช่าง (ที่ใช้ไฟฟ้า) (สว่าน เลื่อยไฟฟ้า ฯ)	3.52
7. ของเล่นอุปกรณ์สันทนาการและกีฬา (เครื่องเล่นเกม ฯ)	0.11
8. อุปกรณ์ทางการแพทย์ (เครื่องฉายรังสี อุปกรณ์วัดคลื่นหัวใจฯ)	0.12
9. เครื่องมือตรวจสอบและควบคุม (เครื่องตรวจจับควัน อุปกรณ์ควบคุมความร้อน ฯ)	0.21
10. ตู้จ่ายอัตโนมัติ (ตู้หยอดเหรียญเครื่องดื่ม ตู้เอทีเอ็มฯ)	0.18

ที่มา : European Commission (2003); Ongondo, Williams, & Cherrett (2011)

ประเด็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้รับความสนใจจากหน่วยงานภาครัฐและนักวิชาการในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องมาจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ปรับเปลี่ยนวัฒนธรรมของผู้บริโภคให้มีความต้องการในผลิตภัณฑ์ใหม่เร็วขึ้น บ่อยขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ในกลุ่มคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือที่ผู้บริโภคเริ่มมีค่านิยมในการเปลี่ยนเครื่องก่อนที่เครื่องเดิมจะเสื่อมสภาพ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้บริโภคดังกล่าวเป็นปัจจัยเร่งให้อายุการใช้งานเฉลี่ยของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สั้นลง นำไปสู่การเกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการคาดการณ์ว่า ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นทั่วโลกน่าจะมีปริมาณมากกว่า 40 ล้านตันต่อปี (Huisman et al., 2008) และมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงร้อยละ 4 ต่อปี (Ravi, 2012)

มีรายงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้คาดการณ์ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศที่พัฒนาแล้ว Huisman et al. (2008) คาดการณ์ว่า ในปี พ.ศ. 2548 ประเทศสมาชิกสหภาพยุโรปได้ก่อให้เกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 10 กลุ่มผลิตภัณฑ์ ประมาณ 8.3–9.1 ล้านตัน และด้วยอัตราการเกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5–2.7 ต่อปี จึงคาดการณ์ได้ว่าปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในยุโรปจะมีจำนวนมากถึง 12.3 ล้านตันภายในปี พ.ศ. 2563 ส่วนในสหรัฐอเมริกานั้นหน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา คาดการณ์ว่ามีขยะอิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นทั่วประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณ 1.9–2.2 ล้านตันในปี พ.ศ. 2548 (US EPA 2008 อ้างถึงใน Townsend, 2011) อย่างไรก็ดีตัวเลขดังกล่าวมาจากการสำรวจผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพียง 4 ประเภทผลิตภัณฑ์เท่านั้น ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริม เครื่องพิมพ์ โทรทัศน์ โทรศัพท์มือถือ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบกับสหภาพยุโรปที่คาดการณ์จาก 10 กลุ่มผลิตภัณฑ์ได้ แต่หากเปรียบเทียบประเภทผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกัน เช่น โทรทัศน์ พบว่า อัตราการเกิดขยะโทรทัศน์ในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปใกล้เคียงกัน นั่นคือ 2.6 และ 2.4 กิโลกรัมต่อคนในสหรัฐอเมริกาและในสหภาพยุโรปตามลำดับ Zoeteman, Krikke&Venselaar (2010)ใช้อัตราการเกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์ต่อคนและสัดส่วนการเกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ คาดการณ์ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นทั้งหมดในสหรัฐอเมริกา พบว่า ตัวเลขน่าจะสูงถึง 6.6 ล้านตันในปี พ.ศ. 2548 และเพิ่มขึ้นเป็น 8.4 ล้านตันในปี พ.ศ. 2553 (ตารางที่ 2) ผลการสำรวจพฤติกรรมของคนอเมริกันโดย US EPA (2008) (อ้างถึงใน Townsend, 2011) พบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2546 ถึง 2548 ร้อยละ 44 ของขยะอิเล็กทรอนิกส์ถูกกำจัดโดยการฝังกลบหรือเผาหรือส่งออก อีกร้อยละ 45 ยังคงเก็บไว้โดยไม่ได้ใช้งานหรือใช้ซ้ำ มีเพียงร้อยละ 11 ที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ (รีไซเคิล) อย่างไรก็ดีสถานการณ์ปัจจุบันของการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในสหรัฐอเมริกาน่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการออกกฎหมายควบคุมการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในมลรัฐต่าง ๆ รวมกว่า 27 มลรัฐ

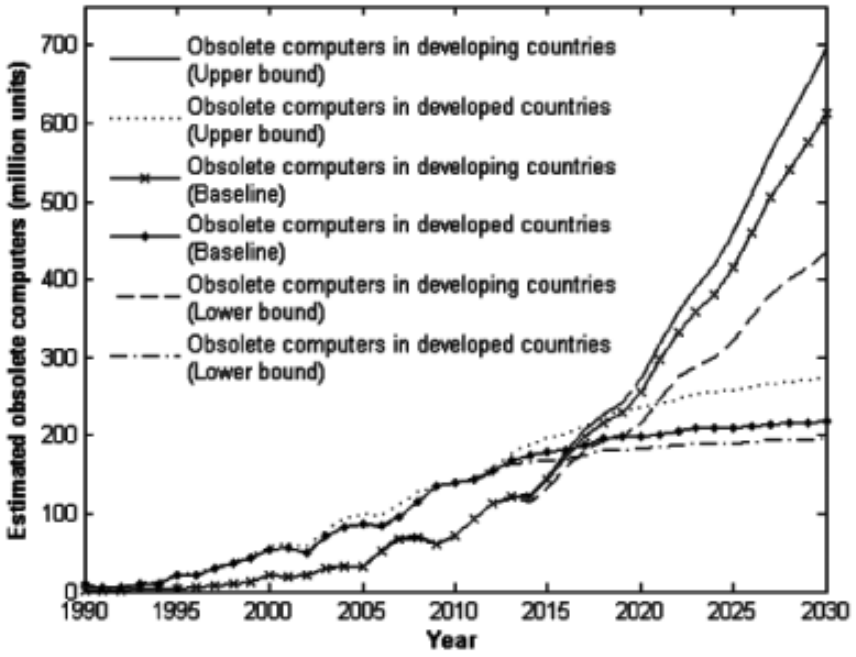
ตารางที่ 2 การคาดการณ์ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นทั่วโลกในปี พ.ศ. 2553 (หน่วย: ล้านตัน/ปี)

ประเทศ/ภูมิภาค	เกิดขึ้น	ฝังกลบ, เก็บไว้ และเผา	รีไซเคิล ในประเทศ/ ภูมิภาค	ส่งออก	นำเข้า
สหรัฐอเมริกา	8.4	5.7	0.42	2.3	–
สหภาพยุโรป (25ประเทศ)	8.9	1.4	5.9	1.6	–
ญี่ปุ่น	4.0	0.6	2.8	0.59	–
จีน	5.7	4.1	0.68	–	2.6
อินเดีย	0.66	0.95	0.21	–	0.97
แอฟริกาตะวันตก	0.07	0.47		–	0.61

ที่มา : Zoeteman, Krikke, & Venselaar (2010)

ที่น่าเป็นห่วง คือ ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศกำลังพัฒนากำลังเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกันในขณะที่ประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่ยังไม่มีกฎหมายและระบบจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่างถูกต้อง Yu et al. (2010) คาดการณ์ว่า ภายในปี พ.ศ. 2561 ประเทศกำลังพัฒนาจะทิ้งขยะประเภทเครื่องคอมพิวเตอร์มากกว่าประเทศที่พัฒนาแล้วและ

จะทิ้งในปริมาณที่มากกว่าสองเท่าภายในปี พ.ศ. 2573 (ประเมินขั้นต่ำอยู่ที่ 400 ล้านเครื่องเทียบกับปริมาณที่เกิดในประเทศที่พัฒนาแล้ว 200 ล้านเครื่อง) (รูปที่ 1) Yang et al. (2007) คาดการณ์ว่า ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศจีนในปี พ.ศ. 2548 อยู่ที่ 3.1 ล้านตัน (ไม่รวมปริมาณนำเข้า) และน่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.7 ล้านตันในปี พ.ศ. 2553 ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าที่เกิดขึ้นในประเทศญี่ปุ่น (Zoeteman, Krikke, & Venselaar, 2010) ทั้งนี้ประชาชนชาวจีนส่วนใหญ่ยังคงเก็บขยะอิเล็กทรอนิกส์ไว้และบางส่วนขายให้กับกลุ่มรับซื้อของเก่าที่นำขยะอิเล็กทรอนิกส์ไปถอดแยกชิ้นส่วนและรีไซเคิลอย่างไม่ถูกต้อง



ที่มา: Yu et al. (2010)

รูปที่ 1 คาดการณ์ปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ในประเทศกำลังพัฒนาเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว

นอกเหนือจากปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นจากการบริโภคภายในประเทศแล้ว ขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังกลายเป็นปัญหามลพิษข้ามพรมแดน เนื่องจากมีการส่งออกขยะอิเล็กทรอนิกส์จากประเทศที่พัฒนาแล้วไปยังประเทศกำลังพัฒนา โดยให้เหตุผลว่าเป็นการส่งออกเพื่อนำไปใช้ซ้ำหรือเป็นการลักลอบส่งออกเพื่อรีไซเคิล โดยประเทศปลายทาง ได้แก่ จีน อินเดีย เวียดนามและประเทศในแถบแอฟริกาตะวันตก (ตารางที่ 2)

ประเด็นที่น่าห่วงเกี่ยวกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ นอกเหนือจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ก็คือ สารอันตรายและโลหะหนักหลากหลายชนิดที่อยู่ในชิ้นส่วนของขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเมื่อมีการจัดการอย่างไม่ถูกต้องจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม Robinson (2009) ได้รวบรวมชนิดของสารอันตรายและโลหะหนักที่ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งพบว่ามีจำนวนมากกว่า 20 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 3 และได้ประมาณการปริมาณสารอันตรายและโลหะหนักบางชนิดที่มีอยู่ในขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกที่เกิดขึ้นอย่างน้อย 20 ล้านตันต่อปี โดยพบว่า โลหะหนักที่มีอยู่ในขยะอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุด ได้แก่ ทองแดง (820,000 ตันต่อปี) นิกเกิล (206,000 ตันต่อปี) โครเมียม (198,000 ตันต่อปี) สังกะสี (102,000 ตันต่อปี) และตะกั่ว (58,000 ตันต่อปี) (Robinson, 2009) โดยแหล่งสำคัญของตะกั่วมาจากหลอดแก้วจอภาพชนิด cathode ray tube (CRT) ของโทรทัศน์และเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะแบบเก่า ซึ่งปัจจุบัน ผู้บริโภคได้เปลี่ยนมาใช้โทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์แบบใหม่ที่เป็นจอแบน (LCD) ทำให้โทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์ชนิดหลอดภาพ CRT ถูกทิ้งหรือขายให้กับพ่อค้ารับซื้อของเก่ามากขึ้นเรื่อยๆ และกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างผลกระทบอย่างมากในขณะนี้

ตารางที่ 3 โลหะหนักและสารอันตรายในขยะอิเล็กทรอนิกส์

โลหะหนัก/สารอันตราย	ความสัมพันธ์/องค์ประกอบในขยะอิเล็กทรอนิกส์
สารหน่วงการติดไฟกลุ่มโบรมีน เช่น PBDEs, PBBs และ TBBPA เป็นต้น	สารหน่วงการติดไฟที่ผสมในพลาสติก
PCBs (polychlorinated biphenyls)	คอนเดนเซอร์ (เครื่องควบแน่น), หม้อแปลงไฟฟ้า
CFC (chlorofluorocarbon)	สารทำความเย็นและน้ำมันในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ โฟมฉนวนกันความร้อนในตู้เย็น (รุ่นเก่า)
PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons)	เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์
ไดออกซินและฟิวแรน (PCDDs, PCDFs)	เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ชิ้นส่วนพลาสติกที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ
อะเมริเซียม (americium, Am)	เครื่องตรวจจับควันชนิดไอออนไนเซชั่น
พลวง (antimony, Sb)	สารหน่วงการติดไฟ, พลาสติก, แผ่นวงจร, จอ CRT, จอ LCD, ชิ้นส่วนในคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์และโทรศัพท์มือถือ
สารหนู (arsenic, As)	แผ่นวงจร,จอ CRT, จอ LCD, จอพลาสมา, วัสดุในการโดปสำหรับซิลิคอน
แบเรียม (barium, Ba)	จอ CRT, จอ LCD, จอพลาสมา
แบริลเลียม (beryllium, Be)	วงจรเรียงกระแสที่ควบคุมด้วยซิลิคอน (silicon-controlled rectifiers), แผ่นวงจร, สายไฟ
แคดเมียม (cadmium, Cd)	แบตเตอรี่, แผ่นวงจร, ชิ้นส่วนพลาสติก, โทนเนอร์
โครเมียม (chromium, Cr)	คอมพิวเตอร์, แผ่นวงจร, จอ CRT, จอ LCD, จอพลาสมา
ทองแดง (copper, Cu)	ระบบสายไฟ, แผ่นวงจร, จอ CRT, โรเตอร์หรือตัวหมุนในมอเตอร์
แกลเลียม (gallium, Ga)	สารกึ่งตัวนำ
อินเดียม (indium, In)	จอ LCD, แผ่นวงจร
ตะกั่ว (lead, Pb)	แบตเตอรี่, จอ CRT, จอ LCD, แผ่นวงจร, โลหะบัดกรี, ฮาร์ดดิสก์
ลิเธียม (lithium, Li)	แบตเตอรี่
ปรอท (mercury, Hg)	หลอดฟลูออเรสเซนต์, แบตเตอรี่, สวิทช์, จอ LCD, แผ่นวงจร
นิกเกิล (nickel, Ni)	แบตเตอรี่, จานเล่นแผ่นซีดี, ฮาร์ดดิสก์, จอ LCD, แผ่นวงจร
ซีเลเนียม (selenium, Se)	แผ่นวงจร, วงจรเรียงกระแส
เงิน (silver, Ag)	จอ LCD, แผ่นวงจร, โลหะบัดกรี, สวิทช์, ระบบสายไฟ
ดีบุก (tin, Sn)	โลหะบัดกรี, จอ LCD
สังกะสี (zinc, Zn)	ที่วางแผ่นซีดี, จอ CRT, ฮาร์ดดิสก์, แผ่นวงจร, จอพลาสมา
แร่ธาตุหายาก (rare earth elements)	CRT screens, แผ่นวงจร

ที่มา : ปรับจาก Robinson (2009); Townsend (2011)

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่ถูกจัดการโดยกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยหรือชาวบ้านที่มิได้จดทะเบียนเป็นโรงงาน (informal sector) โดยแหล่งขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ที่ประเทศจีน ได้แก่ เมือง Guiyu และเมือง Longtang ในจังหวัด Guangdong และเมือง Taizhou จังหวัด Zhejiangโดยเมือง Guiyu ถือเป็นแหล่งรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีประชากรกว่า 150,000 คนประกอบอาชีพคัดแยกและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ใช้กระบวนการถอดแยกและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการและสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอย่างมาก โดยแรงงานส่วนใหญ่จะไม่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล มีการเผาแผ่นวงจร สายไฟและชิ้นส่วนพลาสติกและใช้สารอันตราย เช่น ไซยาไนด์และ กรดไนตริก เป็นต้น ในการสกัดทองจากแผ่นวงจร ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ปนเปื้อนดินและแหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การถอดแกะชิ้นส่วนและทุบจอโทรทัศน์หรือจอคอมพิวเตอร์ CRT ด้วยมือทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นตะกั่วและการทิ้งเศษแก้วที่มีตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการสะสมของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมอย่างมาก (รูปที่ 2 และ 3)

ก) คนงานกำลังแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ ข) การแยกสายไฟเพื่อปลอกหรือเผาให้ได้ทองแดง

ที่มา: Basel Action Network, http://www.ban.org/ (ปี 2001)

รูปที่ 2 แหล่งรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก ณ เมือง Guiyu ประเทศจีน

ก) ภายในบ้านที่มีการหลอมโลหะมีค่าจากแผ่นวงจร ข) เศษชิ้นส่วนและสารอันตรายถูกทิ้งสู่แหล่งดินและแหล่งน้ำ

ที่มา: Basel Action Network, http://www.ban.org/ (ปี 2008)

รูปที่ 3 กิจกรรมที่เป็นอันตรายและการปนเปื้อนของสารอันตรายในแหล่งน้ำ เมือง Guiyu ประเทศจีน

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาและประเมินความเสี่ยงของผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการคัดแยกและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยเหล่านี้ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้รายงานการพบการปนเปื้อนของโลหะหนักและสารอินทรีย์อาทิ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง ตลอดจนสารกลุ่ม PAHs, PBDDs, PBDEs สารไดออกซินและฟิวแรนซึ่งล้วนแต่เป็นสารก่อมะเร็งโดยพบสารอันตรายเหล่านี้ในตัวอย่างดิน, ข้าว, ตะกอน, ฝุ่น, ปลา, รวมทั้งในเนื้อเยื่อของมนุษย์ ได้แก่ รก, เส้นผม, ปัสสาวะ, เลือด จากพื้นที่ของเมือง Guiyu, Taizhou และ Longtang สูงกว่าค่ามาตรฐานและพื้นที่อื่นที่ไม่มีกิจกรรมรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ (control areas) (ผลการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมสามารถศึกษาเพิ่มเติมใน Robinson, 2009; Townsend, 2011; Premalatha et al., 2014; Song & Li, 2015) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยเชิงประจักษ์หลายชิ้นที่รายงานการค้นพบระดับของตะกั่วและหรือแคดเมียมในเลือดของเด็กในพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในเมือง Guiyu และเมือง Taizhou จังหวัด Zhejiang เกินค่ามาตรฐานและสูงกว่ากลุ่มควบคุมในเมือง Chendian (Song & Li, 2015)

นอกเหนือจากประเทศจีนแล้ว ยังมีแหล่งคัดแยกและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศอินเดีย ประเทศในแถบแอฟริกา เช่น ไนจีเรีย (Arabi et al., 2012) กานา (Wittsiepe et al., 2015) และประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ฟิลิปปินส์ (Ballesteros, 2010)เวียดนาม (Matsukami et al., 2015) ที่ดำเนินการโดยกลุ่มชาวบ้านและสร้างผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการศึกษาในส่วนการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินจากพื้นที่ที่มีคัดแยกและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์และพื้นที่กำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้วิธีการเผาในที่โล่งในเมืองต่าง ๆ ของประเทศจีน อินเดียและไนจีเรีย ซึ่งพบว่า ปริมาณโลหะหนักในดินจากแหล่งกำจัดหรือรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์มีค่าเกินมาตรฐานฯ และค่าอ้างอิง โดยปริมาณทองแดงที่พบในประเทศจีนอยู่ในช่วงระหว่าง 157–12,700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่ามาตรฐานฯ50มก./กก.) ทั้งนี้ปริมาณทองแดงที่พบมากที่สุดอยู่ในพื้นที่ที่มีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนตะกั่วพบในช่วง 104–6,083 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ค่ามาตรฐานฯ250มก./กก.) โดยพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนตะกั่วค่อนข้างสูง คือ บริเวณที่คัดแยกและเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่นเดียวกับสังกะสีและแคดเมียม พบเกินค่ามาตรฐานในพื้นที่ที่สำรวจแทบทั้งสิ้น ส่วนสารหนูพบเกินค่ามาตรฐานในงานวิจัยบางชิ้น

ในบรรดาโลหะหนักที่มีการตรวจพบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมนั้น ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูงต่อคนและสัตว์ ที่น่าเป็นห่วงคือ เด็กเล็ก (ต่ำกว่า 6 ขวบ) ที่อยู่ในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีความเสี่ยงสูงในการได้รับตะกั่วสะสมในปริมาณมากซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคพิษตะกั่วได้ ทั้งนี้ ฝุ่นผงตะกั่วที่ติดตามเสื้อผ้าของผู้ปกครองสามารถแพร่กระจายมาสู่เด็กได้โดยง่ายผ่านทางระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งพฤติกรรมของเด็กที่มักหยิบของหรือเอามือเข้าปากทำให้มีความเสี่ยงที่จะได้รับตะกั่วผ่านระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งร่างกายของเด็กเล็กสามารถดูดซึมตะกั่วผ่านระบบทางเดินอาหารได้ดีกว่าผู้ใหญ่ถึง 4–5 เท่าโดยเฉพาะเด็กที่ขาดสารอาหาร เช่น แคลเซียม เป็นต้น ปัจจุบันยังไม่มีระดับการสัมผัสตะกั่วที่จัดว่าปลอดภัย เนื่องจากตะกั่วที่สะสมในร่างกายของเด็กเล็กจะไปทำลายระบบประสาท ส่งผลต่อการพัฒนาของสมองและระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เด็กมีไอคิวต่ำ พัฒนาการช้าและกระทบต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางพฤติกรรม เช่น สมาธิสั้น และภาวะโลหิตจาง (World Health Organization, 2014) นอกจากตะกั่วแล้วยังมีโลหะหนักและสารอันตรายหลายชนิดจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสามารถสะสมยาวนานในระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักในดินจากพื้นที่คัดแยกและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในต่างประเทศ (หน่วย : มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม)

พื้นที่	งานศึกษา	ปีที่สำรวจ	ลักษณะดิน ตัวอย่าง	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	โครเมียม	สารหนู
เมือง Guiyu จังหวัด Guangdong ประเทศจีน	Leung et al. (2006)	2003	ดินบริเวณกอง ซากพลาสติก เผาไหม้แล้ว	496	104	258	1.7	155	–	28.6	–
			ดินบริเวณกอง ซากตลับหมึก ปริ้นเตอร์	712	190	–	3.1	87	–	74.9	–
	Li et al. (2011)	2009	เศษดินจากพื้นที่เผาขยะชุมชน และขยะอิเล็กทรอนิกส์	12,700	480	3,500	10.0	1,100	500	320	52
			ดินบริเวณที่เคยเป็นสถานที่หลอมโลหะจากขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้	4,800	150	330	1.2	480	300	2600	26
	Alabi et al. (2012)	2009	กรด	788	1,431	–	31,96	114	374	153.6	–
			ดินบริเวณที่ทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์	684	541	–	5.8	27	461	12.21	–
เมือง Taizhou จังหวัด Zhejiang ประเทศจีน	Tang et al. (2010)	2008	ดินจากพื้นถนน ดินบริเวณสถานที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์	742	965	392	7.7	64	–	77.4	–
	Zhang et al. (2014)	ไม่ระบุ		2,364	6,083	5,996	42.3	–	–	771.5	36.6
			ดินจากสถานที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกทิ้งร้าง (16 ตัวอย่าง)	157	167	276	2.2	–	–	69.5	5.3
เมือง Longtang จังหวัด Guangdong ประเทศจีน	Lou et al. (2008b)	2005	ดินจากพื้นที่ใกล้เคียง ห่างออกไป 100 เมตร (32 ตัวอย่าง) ดินบริเวณที่มีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในที่โล่ง	4,851	1,715	1,017	10.3	100	–	63.3	–
	Lou et al (2008a)	2006	ดินบริเวณถอดคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	6,372	1,635	3,040	39.3	–	–	–	–
	Lou et al. (2011)	2007	ดินจากพื้นที่เผาขยะอิเล็กทรอนิกส์	11,140	4,500	3,690	17.1	–	–	–	–
			ดินจากริมบ่อน้ำ ซึ่งมักมีการเผาและทิ้งซาก	3,55	1,880	1,160	5.5	–	–	–	–
	Wu et al. (2015)	2013	ดินบริเวณกองขยะอิเล็กทรอนิกส์ (ทิ้งร้าง)	513	198	179	0.14	14.5	111	22.5	–
			ดินบริเวณที่มีการเผาขยะอิเล็กทรอนิกส์ (ทิ้งร้าง)	1,981	206	194	0.52	16.6	123	30.9	–
			ดินบริเวณที่มีการใช้กรดสกัดโลหะ (ทิ้งร้าง)	2,981	131	316	0.39	135	173	58.3	–
เมือง Shijiao จังหวัด Guangdong	Lou et al (2008a)	2006	ดินจากบริเวณถอดคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	4,001	944	2,045	21.3	–	–	–	–

พื้นที่	งานศึกษา	ปีที่สำรวจ	ลักษณะดิน ตัวอย่าง	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	โครเมียม	สารหนู
เมือง Bangalore ประเทศอินเดีย	Ha et al. (2009)	2006	ดินจากพื้นที่รีไซเคิลขยะอิเล็กทรอ นิกส์ในชุมชนสลัม	592	297	326	2.33	–	449	73	–
เมือง Lagos ประเทศไนจีเรีย	Alabi et al. (2012)	2009	ดินบริเวณที่ทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ Computer Village market	154	131	–	5.98	14.98	74.1	134.7	–
			ดินบริเวณที่ทิ้งขยะอิเล็กทรอนิกส์ Alaba International market	4,308	1,535	–	7.69	31.99	270.9	13.86	–
ค่ามาตรฐานจีน (Grade II)				50	250	200	0.3	40	–	200	30
ค่ามาตรฐานเนเธอร์แลนด์ (intervention value)				190	530	720	13	100	–	78	76

หมายเหตุ : ค่ามาตรฐานจีน หมายถึง มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรมและอยู่อาศัยของประเทศจีน (MEP, 1996)
ค่ามาตรฐานเนเธอร์แลนด์เป็น intervention value ปี 2009 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าระดับความเข้มข้นของโลหะหนักในดินอยู่ในระดับที่รุนแรงและต้องมีการบำบัด (Ministry of VRIOM, 2009)

ที่มา : รวบรวมโดยผู้เขียน

ตารางที่ 5 ผลกระทบต่อสุขภาพจากโลหะหนักและสารอันตรายบางชนิดจากขยะอิเล็กทรอนิกส์

สารอันตราย	ชิ้นส่วน	ผลกระทบต่อสุขภาพ
ตะกั่ว	จอโทรทัศน์ จอคอมพิวเตอร์, แผ่นวงจร, แบตเตอรี่รถยนต์	● ผลต่อระบบประสาทส่วนกลางและสมองทำให้มีอาการหงุดหงิดง่าย กระวนกระวาย ซึม เวียนศีรษะ เดินเซ หกล้มง่าย นอนไม่หลับ บุคลิกภาพเปลี่ยนแปลง ความจำเสื่อม ในรายที่เป็นรุนแรง อาจมีอาการสั่นเวลาเคลื่อนไหว ชัก หมดสติและเสียชีวิตได้ ● ผลต่อระบบประสาทส่วนปลายและกล้ามเนื้อเริ่มจากอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา บางครั้งมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่าง ๆ ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วปริมาณมาก ๆ เป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดอัมพาตของกล้ามเนื้อได้
ปรอท	สวิทช์, หลอดไฟ, จอ LCD (liquid crystal display)	● ผลต่อระบบทางเดินอาหาร เริ่มจากมีอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก หรือบางรายท้องเสีย ปวดท้องอย่างรุนแรง อาจพบแนวเส้นตะกั่ว ลักษณะเป็นเส้นสีน้ำเงิน-ดำ จับอยู่ที่ขอบเหงือกต่อกับฟัน พบบ่อยบริเวณฟันหน้า และฟันกราม ● ระบบโลหิต อาการซีด เลือดจาง อ่อนเพลีย ● ในเด็กที่อายุต่ำกว่า 6 ปี การสะสมของตะกั่วอาจส่งผลต่อการพัฒนาการของสมอง ทำให้เด็กมีไอคิวต่ำ พัฒนาการช้า และส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ● ปรอทเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถระเหยกลายเป็นไอและแขวนลอยอยู่ในอากาศได้และแพร่ลงสู่ดินและแหล่งน้ำได้ ปรอทในแหล่งน้ำสามารถเปลี่ยนเป็น methylmercury โดยแบคทีเรียซึ่งเป็นรูปที่สามารถสะสมอยู่ในไขมันในร่างกายได้เป็นเวลานาน ● พิษของปรอทมีตั้งแต่ขั้นเล็กน้อยจนถึงรุนแรง โดยอาจทำให้เกิดอาการใจสั่น นอนไม่หลับ ปวดศีรษะ สายตาพร่ามัว เดินเซ พูดจาไม่ชัด อ่อนเพลีย และอาจทำลายระบบประสาทส่งผลต่อการเรียนรู้ กระบวนการคิด ความจำ สมาธิและการสื่อสาร ● หากร่างกายได้รับปรอทสะสมในปริมาณสูงจะส่งผลต่อไต ระบบการหายใจและอาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ เราสามารถได้รับพิษจากปรอทผ่านห่วงโซ่อาหารโดยการรับประทานปลาที่มีปรอทสะสมอยู่ กรณีสตรีมีครรภ์ การรับประทานปลาที่มีปรอทอาจส่งผลต่อการพัฒนาของทารกในครรภ์และปรอทจะถูกสะสมอยู่ในน้ำนมแม่ด้วย
แคดเมียม	ชิ้นส่วนวัสดุกึ่งตัวนำ, แผ่นวงจร, จอ CRT, แบตเตอรี่	● แคดเมียมสามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมและมีความเป็นพิษสูง ● พิษอย่างเฉียบพลัน เกิดจากการสูดไอของโลหะแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ เจ็บหน้าอก ไอ ปอดอักเสบ ● ในระยะยาว แคดเมียมจะไปสะสมที่กระดูก ทำให้กระดูกผุ เมื่อได้รับสะสมมาก ๆ จะสังเกตเห็นวงสีเหลืองที่โคนของซี่ฟัน เกิดโรค “อิไตอิไต” ทำให้กระดูกเปราะหักง่าย เจ็บปวดกระดูกทั่วร่างกาย
ทองแดง	ทองแดงในเครื่องใช้ไฟฟ้า,สายไฟ	● คลื่นเหียน อาเจียน อักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย ● การทำงานของหัวใจผิดปกติ หากสะสมในปริมาณมาก อาจทำให้ร่างกายสั่นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง น้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก
สารหน่วงการติดไฟกลุ่มโบรมีน	ส่วนผสมในพลาสติก, แผ่นวงจร, สายเคเบิล	● สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ polybrominated biphenyls (PBBs) และ polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) สามารถสะสมอยู่ในร่างกายคงทนโดยจะไปรบกวนการทำงานของระบบประสาท สมอง ต่อมไร้ท่อและฮอร์โมน ส่งผลต่อการพัฒนาทารกในครรภ์ มีรายงานการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในระบบทางเดินอาหารและต่อมน้ำเหลือง
สารทำความเย็น (CFC-11, CFC-12)	ตู้เย็น, เครื่องปรับอากาศ (รุ่นเก่า)	● ระคายเคืองต่อระบบหายใจ ตา ปวดศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว ● ทำลายโอโซนในบรรยากาศ ส่งผลให้รังสีอัตราไวโอเลต (UV) ผ่านเข้ามาสู่โลกมากเกินไป เพิ่มความเสี่ยงการเป็นมะเร็งผิวหนัง อีกทั้งยังเป็นสารก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดย CFC-11 และ CFC-121 กิโลกรัมมีค่า global warming potential (GWP) เท่ากับ 4,750 และ 8,500 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ตามลำดับ
ไดออกซิน/ฟิวแรน	สายไฟ, ชิ้นส่วน พลาสติก PVC เมื่อถูกเผา	● การเผาพลาสติกที่มีส่วนประกอบของโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ไม่ว่าจะเผาในเตาเผาหรือเผาในที่โล่ง จะทำให้เกิดไดออกซินคลอไรด์และฟิวแรนซึ่งเป็นสารที่สามารถตกค้างและสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมยาวนานและมีความเป็นพิษสูงแม้ในความเข้มข้นที่ต่ำ จัดเป็นสารก่อมะเร็ง พิษต่อระบบประสาท กล้ามเนื้อเสื่อม โรคผิวหนัง ตับทำงานผิดปกติ ความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ ในหญิงตั้งครรภ์ ทำให้มีความผิดปกติของทารก

ที่มา : อรวรรณ พู่พิสุทธิ์และศุลีพร แสงกระจ่าง (2553), เว็บไซต์ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยาและจากการรวบรวมของผู้เขียน

สถานการณ์ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

สำหรับสถานการณ์ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยนั้น ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้นทุกปีตามระดับความเจริญทางเศรษฐกิจ ในรายงานสถานการณ์มลพิษประเทศไทย ปี 2557 กรมควบคุมมลพิษได้คาดการณ์ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์หรือซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อยู่ที่ประมาณ 376,801 ตันซึ่งเป็นปริมาณรวมจากซากผลิตภัณฑ์ฯ เพียง 8 ชนิด ได้แก่ โทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า คอมพิวเตอร์ เครื่องเล่นวีซีดี/ดีวีดี โทรศัพท์มือถือและกล้องถ่ายรูปดิจิตอล ดังนั้น หากรวมทุกประเภทผลิตภัณฑ์เหมือนสหภาพยุโรป (10 กลุ่มผลิตภัณฑ์) คาดว่า ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยน่าจะสูงกว่านี้หลายเท่า

ในประเทศไทย เช่นเดียวกับประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย ขยะอิเล็กทรอนิกส์หรือ “ของเก่า” ในความเข้าใจของคนไทยมักจะถูกขายให้กับพ่อค้ารับซื้อของเก่าหรือซาเล้งที่มาตระเวนรับซื้อจากบ้านเรือนเพื่อนำไปถอดแยกชิ้นส่วนเพื่อขายเป็นวัสดุรีไซเคิล เช่น ทองแดง อลูมิเนียม พลาสติก เป็นต้น

จากการประเมินของกรมควบคุมโรค คาดการณ์ว่า ประเทศไทยมีแหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์กระจายอยู่ทั่วประเทศเกือบร้อยแห่งในจังหวัดกระบี่ กาฬสินธุ์ ชลบุรี เชียงราย เชียงใหม่ นครปฐม นนทบุรี บุรีรัมย์ ปทุมธานี ปราจีนบุรี พระนครศรีอยุธยา ราชบุรี ลำพูน สมุทรปราการ สมุทรสาคร สระแก้ว และอำนาจเจริญ (ไทยรัฐออนไลน์, 2557) ไม่นับรวมร้านค้าของเก่าบางรายที่มีการถอดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และเผาสายไฟเช่นกัน ทั้งนี้ พื้นที่ที่มีหน่วยงานนักวิชาการและสื่อมวลชนให้ความสนใจเข้าไปสำรวจค่อนข้างมากได้แก่

1. อำเภอม้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ ประกอบด้วย 5 ตำบล มีผู้ประกอบการจำนวน 283 รายจาก 5 ตำบล โดยเฉพาะอย่างยิ่งตำบลโคกสะอาดที่มีผู้ประกอบการจำนวน 240 รายจาก 12 หมู่บ้าน เป็นพื้นที่ที่มีชาวบ้านประกอบกิจกรรมรับซื้อและคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศไทย (นอกจากขยะอิเล็กทรอนิกส์แล้วยังมีการแยกชิ้นส่วนยานพาหนะ บรรจุภัณฑ์ กระดาษ เศษวัสดุก่อสร้าง รวมไปถึงชิ้นส่วนอาวุธ)
2. ตำบลบ้านเป้า อำเภอพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์
3. ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์
4. ชุมชนเสือใหญ่อุทิศ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

จากการสำรวจพื้นที่อำเภอม้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์โดยมูลนิธิบูรณะนิเวศ (เพ็ญโฉมและคณะ, 2552) กรมควบคุมโรค (ปี 2553) สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่10 กรมควบคุมมลพิษ (ปี 2556–2557) และการสำรวจพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในกรุงเทพมหานครโดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม เมื่อปี 2557 พบว่า ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีลักษณะการดำเนินกิจกรรมที่คล้ายคลึงกัน (รูปที่ 4 ถึงรูปที่ 6) ดังนี้

- การทำงานเป็นเครือข่ายและมีการแบ่งหน้าที่กันทำงาน ดังนี้ (1) ร้านค้าของเก่าขนาดใหญ่ที่มีเครื่องจักรและลูกจ้าง (มักจะเป็นแรงงานต่างด้าว) ประมาณ 5–10 คน รับซื้อชิ้นส่วนรีไซเคิลจากผู้ประกอบการรายย่อย (2) ผู้ประกอบการรายย่อยส่วนใหญ่มีรถกระบะไปตระเวนรับซื้อจากบ้านเรือนและใช้แรงงานในการถอดแยกชิ้นส่วน และ (3) ลูกจ้างที่รับจ้างแกะแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์
- การถอดแยกชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ มีบางส่วนที่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ได้แก่ ถุงมือ หน้ากากอนามัย เป็นต้น
- การเผาสายไฟและชิ้นส่วนพลาสติกเพื่อแยกทองแดงและโลหะก่อให้เกิดไอทองแดง ฝุ่น สารไดออกซินและฟิวแรนปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม
- การทิ้งและทุบจอโทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์ (จอ CRT) ส่งผลให้โลหะหนักหลายชนิดปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกั่ว แบเรี่ยมและแคดเมียม
- การผ่าคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศและตู้เย็นเพื่อแยกทองแดง และทิ้งน้ำมันหล่อเย็นที่มี CFC ลงพื้น (บางรายจะเก็บรวบรวมน้ำมันหล่อเย็นไว้เพื่อขายต่อ)

- การตัดคอมเพสเซอร์ด้วยก๊าซเพื่อแยกทองแดงและเหล็ก
- การบดย่อยพลาสติกด้วยเครื่องจักร (ร้านค้าของเก่า)
- การเทน้ำกรดจากแบตเตอรี่รถยนต์
- การเผาชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ไม่สามารถขายได้ เช่น โฟมฉีดสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อนของตู้เย็น เศษพลาสติก แผ่นวงจรจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะรวบรวมและขายต่อให้กับพ่อค้าที่มาตระเวนรับซื้อถึงชุมชน ดังนั้น ชุมชนจึงเป็นเพียง "ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์" มิได้ถึงขั้น "ชุมชนคัดแยกและรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์" ดังเช่นที่ประเทศจีนและประเทศกำลังพัฒนาอื่น ๆ ที่มีหลอมสกัดทองและโลหะมีค่าจากแผ่นวงจรด้วยกรด ซึ่งเป็นกิจกรรมที่มีความเป็นอันตรายอย่างมาก

ก) ขยะประเภทโทรทัศน์รอการแกะแยกชิ้นส่วน ข) กองชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่แกะแยกแล้วรอขาย

ที่มา: ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (สำรวจเมื่อปี 2556)

รูปที่ 4 ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ตำบลโคกสะอาด อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์

ก) เผาสายไฟเพื่อเอาทองแดงในพื้นที่กำจัดขยะ ข) เศษแก้วจากจอโทรทัศน์ที่มีตะกั่วในบริเวณที่กำจัดขยะ

ที่มา: ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (สำรวจเมื่อปี 2556)

รูปที่ 5 สภาพพื้นที่ทิ้งและกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ตำบลโคกสะอาด อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์

ก) สภาพภายในบ้านที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ข) บริเวณด้านนอกร้านรับซื้อและคัดแยกอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สำรวจเมื่อปี 2557)

รูปที่ 6 สภาพพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในชุมชนเสือใหญ่อุทิศ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

แม้จะมีหน่วยงานหลายหน่วยงานเข้าไปสำรวจสถานการณ์ปัญหาในพื้นที่และรายงานระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและแหล่งน้ำ แต่งานศึกษาส่วนใหญ่ยังเป็นเพียงการสำรวจในเบื้องต้นและยังมิได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการ บทความนี้ได้รวบรวมและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โลหะหนักบางชนิดในดินจากพื้นที่ตำบลโคกสะอาดและพื้นที่ซอยเสือใหญ่อุทิศ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 6 โดยในส่วนพื้นที่ฆ้องชัย งานวิจัยของมูลนิธิบูรณะนิเวศ (เพ็ญโฉมและคณะ, 2552) สำรวจตัวอย่างดินในพื้นที่ตำบลโคกสะอาดเมื่อปี 2551 พบการปนเปื้อนของตะกั่วในพื้นบริเวณที่มีการเผาสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมรวมทั้งพบการปนเปื้อนของทองแดงและนิกเกิล เช่นเดียวกับรายงานของกรมควบคุมโรค (Suwan-ampai, 2011)และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 กรมควบคุมมลพิษ (2557) ที่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิดเช่นกัน โดยเฉพาะตะกั่ว ทองแดง แมงกานีสและสารหนู อย่างไรก็ดี หากเทียบปริมาณตะกั่วและทองแดงที่พบในพื้นที่ฆ้องชัย (ก่อนปี 2557) และในเมือง Guiyu และเมืองอื่น ๆ ในประเทศจีน พบว่า ค่าทองแดงและตะกั่วในงานวิจัยของไทยมีค่าสูงกว่าค่อนข้างมากซึ่งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอีกครั้งแต่หากเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในพื้นที่ฆ้องชัยโดยกรมควบคุมมลพิษและพื้นที่เสือใหญ่อุทิศ กรุงเทพมหานคร ในปี 2557 จะพบว่า ปริมาณตะกั่วระหว่างสองพื้นที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่พื้นที่ฆ้องชัยมีปริมาณทองแดง สังกะสีและนิกเกิลสูงกว่าพื้นที่เสือใหญ่อุทิศ ส่วนแคดเมียมและแมงกานีสนั้นพบว่ามีค่าไม่สูงนักและไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินอย่างไรก็ดี หากเปรียบกับพื้นที่นอกชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ (control area) และเทียบกับค่า Intervention Value (มาตรฐานเนเธอร์แลนด์) ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่บ่งชี้ว่าระดับการปนเปื้อนที่สูงจนต้องมีการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อน พบว่า ในพื้นที่ประกอบกิจกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์ทุกจุด (ศีลาวุธ ดำรงศิริ, 2558)

แม้จะมีการรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวข้างต้น แต่ยังพบว่าค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินมีความแตกต่างกันอย่างมากซึ่งอาจมาจากช่วงเวลา ความลึกของดินที่เก็บ สภาพอากาศในวันที่เก็บตัวอย่างดินหรือวิธีการและเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ จึงควรมีการศึกษาวิจัยอย่างเป็นระบบตามหลักวิชาการอีกครั้งเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในต่างประเทศได้ รวมทั้งควรขยายขอบเขตการศึกษาให้รวมถึงสารอันตรายอื่น ๆ ด้วย อาทิ PAHs, PCBs, VOC, ไดออกซิน/ฟิวแรนตลอดจนการติดตามผลกระทบทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในระยะยาวต่อไป

ตารางที่ 6 งานวิจัยที่ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินในพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย (หน่วย : มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม)

พื้นที่	งานศึกษา	ปีที่สำรวจ	ลักษณะดิน ตัวอย่าง	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี	แคดเมียม	นิกเกิล	แมงกานีส	โครเมียม	สารหนู
ตำบลโคกสะอาด อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์	เพ็ญโฉม แลคณะ (2552)	2551	ดินบริเวณที่กำจัดขยะของ อบต.	39,161	79,520	–	1.46	75	1,519	–	–
	กรมควบคุมโรค (Suwan-ampai, 2011)	2553	ดินบริเวณบ้านที่รับซื้อและแยกชิ้นส่วน	–	26,694	–	6.16	619	3,340	–	15.1
	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 กรมควบคุมมลพิษ (ม.ป.ป.)	2557	ดินบริเวณที่กำจัดขยะของ อบต.	8,671	2,636	11,890	12	118	–	44	9.6
			ดินบริเวณบ้านที่รับซื้อและแยกชิ้นส่วน	9,267	1,383	580	3.3	27	–	18	6.0
ซอยเสือใหญ่อุทิศ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	ศีลาวุธ ดำรงศิริ (2558)	2557	ดินจากรอบบริเวณชุมชน คัดแยกขยะ ความลึก 0-10 ซม. (11ตัวอย่าง)	4,828	1,058	1,847	<2	74	511	88	–
ดินใน กรุงเทพฯ	ศีลาวุธ ดำรงศิริ (2558)	2557	ดินในบริเวณนอกพื้นที่ คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์	90	67	234	<2	16	374	37	–
ค่ามาตรฐานไทย*				–	400	–	37	1,600	1,800	300	3.9
ค่ามาตรฐานเนเธอร์แลนด์ (intervention value)				190	530	720	13	100	–	–	76

หมายเหตุ : * ค่ามาตรฐานไทย หมายถึง มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ , 2547)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทความชิ้นนี้ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นในต่างประเทศและในประเทศไทย โดยพบว่าปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศกำลังพัฒนา โดยคาดการณ์ว่า ในอีก 3 ปีข้างหน้านี้ ประเทศกำลังพัฒนาจะทิ้งขยะประเภทเครื่องคอมพิวเตอร์ในปริมาณที่มากกว่าประเทศที่พัฒนาแล้ว อีกทั้งปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากการลักลอบส่งออกมาจากประเทศที่พัฒนาแล้ว มายังประเทศกำลังพัฒนา ปลายทางหลัก ได้แก่ ประเทศจีน อินเดียและประเทศในแถบแอฟริกา โดยบางส่วนจะอ้างว่าเป็นการส่งออกเพื่อใช้ซ้ำ เช่น การบริจาคเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้แล้ว ซึ่งในความเป็นจริงผลิตภัณฑ์ฯที่ส่งออกส่วนใหญ่จะใช้การไม่ได้แล้วและเหมาะที่จะนำไปรีไซเคิล (ถอดแยกชิ้นส่วน) มากกว่าการซ่อมแซมเพื่อใช้ซ้ำ

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นในประเทศที่พัฒนาแล้วส่วนใหญ่จะถูกเก็บไว้หรือนำไปฝังกลบ จนรัฐบาลประเทศต่าง ๆ ได้ออกกฎหมายห้ามการฝังกลบและส่งเสริมการนำกลับมาใช้ใหม่ ในขณะที่ขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศกำลังพัฒนาจะถูกจัดการโดยกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยหรือกลุ่มรับซื้อของเก่า การดำรงอยู่ของกลุ่มรับซื้อและคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้โรงงานรีไซเคิลที่ทำถูกต้องไม่สามารถเกิดได้ เนื่องจากผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องลงทุนในระบบควบคุมสารอันตรายและมลพิษที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการจึงมีต้นทุนในการดำเนินการสูงกว่ากลุ่มชาวบ้านรับซื้อของเก่าที่มีต้นทุนเพียงค่าขนส่งและถอดแยก แต่มิได้รับผิดชอบต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการทิ้งสารอันตรายและเศษชิ้นส่วนที่ปนเปื้อนโลหะหนักและสารอันตรายสู่สิ่งแวดล้อม โรงงานรีไซเคิลที่มีระบบการจัดการอย่างถูกต้องจึงไม่สามารถเสนอราคารับซื้อแข่งกับกลุ่มรับซื้อของเก่าได้ ด้วยเหตุนี้ภาครัฐจึงต้องเข้ามาช่วยสร้างระบบการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยหามาตรการที่จะสามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางการไหลของขยะอิเล็กทรอนิกส์จากกลุ่มค้าของเก่าไปยังโรงงานรีไซเคิลให้ได้ ภาพดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการออกกฎหมายเพื่อมาควบคุมดูแลขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นการเฉพาะ ในต่างประเทศ กฎหมายส่วนใหญ่จะอิงหลักการที่เรียกว่า "ความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต" (Extended Producer Responsibility: EPR) ซึ่งเป็นหลักการที่ให้ผู้ผลิตเข้ามารับผิดชอบในการเก็บรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ฯและนำไปบำบัดและจัดการอย่างถูกต้อง ในประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษได้พยายามยกร่างกฎหมายที่ใช้หลักการ EPR เช่นกัน นั่นคือ "ร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และซากผลิตภัณฑ์อื่น พ.ศ. ...." (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) คงต้องติดตามต่อไปว่าจะสามารถผลักดันให้มีการประกาศร่างกฎหมายนี้ได้เป็นผลสำเร็จหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

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

Ballesteros, F.C. (2010). "A Scientific Enquiry of E-waste Generation and Management in the Philippines by Formal and Informal Waste Recyclers: Past and future prospects", paper presented at the 7th NIES Workshop on E-waste, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan. http://www.nies.go.jp/event/kaigi/20101019/20101019-2e.html

European Commission. (2003). *Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment.* Official Journal of the European Union, Luxembourg, 24-38.

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

Huisman, J. et al. (2008). *Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).* Bonn: United Nations University, 2007.

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

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

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

Luo, Y., Luo, X., Yang, Z., Yu, X., Yuan, J. Chen, S., & Mai, B. (2008a). 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, 123-129.

Luo, Y., Luo, X., Yang, Z., Yu, X., Yuan, J. Chen, S., & Mai, B. (2008b). 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, 343-349.

Matsukami, H., Tue, N.M., Suzuki, G., Someya, M., Tuyen, L.H., Viet, P.H. et al. (2015). Flame retardant emission from e-waste recycling operation in northern Vietnam: Environmental occurrence of emerging organophosphorus esters used as alternatives for PBDEs. *Science of the Total Environment*, 514, 492-499.

Ministry of VRIOM (2009).*Soil Remediation Circular 2009*, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (Netherlands).Retrieved April 1, 2015, from http://rwsenvironment.eu/publish/pages/97218/circulaire_april_2012_eng_def.pdf.

Ministry of Environmental Protection (MEP) (1996). Environmental quality standard for soils. The People's Republic of China. (GB 15618-1995). Retrieved April 1, 2015, fromhttp://english.mep.gov.cn/standards_reports/standards/Soil/Quality_Standard3/200710/t20071024_111882.htm

Ongondo, F. O., Williams, I. D. & Cherrett, T. J. (2011). How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes.*Waste Management*, 31, 714-730.

Premalatha, M. et al. (2014). The generation, impact, and management of e-waste: State of the art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44 (14), 1577-1678.

Ravi, V. (2012). Evaluating overall quality of recycling of e-waste from end-of-life computers. *Journal of Cleaner Production*, 20, 145-151.

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

Song, Q. & Li, J. (2015). A review on human health consequences of metals exposure to e-waste in China. *Environmental Pollution*, 196, 450-461.

Suwan-ampai, P. (2011). "Environmental and health impact of e-waste: a case study in Thailand," Paper presented at the Regional Training Workshop on Repair, Refurbishment, Reconditioning of Used EEE and Recycling and Final Disposal of E-Wastes 19-21 April 2011, Bangkok.

Tang, X., Shen, C., Shi, D., Cheema, S.A., Khan, M.I., Zhang, C. & Chen, Y. (2010). 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, 653-660.

Townsend, T. G. (2011). Environmental issues and management strategies for waste electronic and electrical equipment. *Journal of Air and Waste Management Association*, 61, 587-610.

Wittsiepe, J., Fobil, J.N., Till, H., Burchard, G-D., Wilhelm, M. & Feldt, T. (2015). Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans (PCDD/Fs) and biphenyls (PCBs) in blood of informal e-waste recycling workers from Agbogbloshie, Ghana, and controls.*Environment International*, 79, 65-73.

World Health Organization (WHO)(2014). *Lead poisoning and health*. Retrieved April 28, 2015, from http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/

Wu, Q., Leung, J.Y.S., Geng, X., Chen, S., Huang, X. Li, H. et al. (2015). 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, 217-225.

Yang, J., Lu, B., Xu, C. (2007). WEEE flow and mitigating measures in China.*Waste Management*, 28, 1589-1597.

Yu, J., Williams, E., Ju, M. & Yang, Y. (2010). Forecasting global generation of obsolete personal computers. *Environmental Science & Technology*, 44, 3232-3237.

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

Zoeteman, B. C. J., Krikke, H. R., & Venselaar, J. (2010). Handling WEEE waste flows: on the effectiveness of producer responsibility in a globalizing world. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 415-436.

กรมควบคุมมลพิษ (2557). *รายงานหลัก โครงการยกร่างกฎหมายการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และของเสียอันตรายจากชุมชน.* ศึกษาโดยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ตุลาคม.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2547). *ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน.* ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547 หน้า 170–181. http://infofile.pcd.go.th/law/9_1_soil.pdf?CFID=749243&CFTOKEN=18010938 เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2558.

เพ็ญโฉม แซ่ตั้งและคณะ (2552). *รายงานการศึกษาเชิงปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบและแสวงหาแนวทางการจัดการขยะอย่างมีส่วนร่วม กรณีตำบลโคกสะอาด อำเภอม้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์.* สนับสนุนโดยมูลนิธิเอเชีย (ประเทศไทย). 132 หน้า

ศีลาวุธ ดำรงศิริ (2558). การปนเปื้อนโลหะหนักในดินในพื้นที่ชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. *วารสารสิ่งแวดล้อม,* ฉบับที่ 3 ปีที่ 19 2558.

สธ. ยันเฝ้าระวังใกล้ชิด เหตุเด็ก จ.กาฬสินธุ์ รับ ‘สารตะกั่วจากขยะ’ (2557, 23 พฤษภาคม). *ไทยรัฐออนไลน์* http://www.thairath.co.th/content/424716 เข้าถึงเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2557.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 กรมควบคุมมลพิษ (ม.ป.ป.) รายงานสรุปปัญหาสิ่งแวดล้อมจากซากขยะผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็คทรอนิกส์ในพื้นที่อำเภอม้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์. ส่วนจัดการขยะ กากของเสียและคุณภาพอากาศ.

อรวรรณ พู่พิสุทธิ์และศุลีพร แสงกระจ่าง (2553). ความเป็นพิษของขยะอิเล็กทรอนิกส์. *วารสารพิษวิทยาไทย.* 25 (1), 67–76.