



การศึกษาปริมาณวัสดุจากกระบวนการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ A Study of the Quantity of Materials from Computer Scraps Recycling Process

อภิชาต กำเนิดัว^{1*} วณิดา รัตนมณี¹ รุณชานา สินธวาลัย¹ และ วรณรัช สันติอมรทัต²

Apichon Kamnerdwam^{1*} Wanida Rattanamane¹ Runchana Sinthavalai¹ and Wannarat Suntiamorntu²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Correspondent author: apichon.km@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและแบบพกพาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ยังขาดระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประมาณการปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณของวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การประมาณการซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตของประเทศไทย การนำเสนอเทคโนโลยีและกระบวนการรีไซเคิล และการประมาณการปริมาณวัสดุที่จะได้รับจากการรีไซเคิล ผลจากการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยจะมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพาเกิดขึ้นประมาณ 4,222,291 เครื่อง หรือคิดเป็นร้อยละ 57.88 และ 3,072,827 เครื่อง หรือคิดเป็นร้อยละ 42.12 ตามลำดับ และหากนำเอาเทคโนโลยีในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ทั้งสามระดับ ร่วมกับกระบวนการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพมาใช้จะพบว่า ในปี พ.ศ. 2558 จะได้รับปริมาณของพลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ตะกั่ว ดีบุก เงิน และทอง เท่ากับ 6,027,634 กิโลกรัม, 20,953,216 กิโลกรัม, 14,258,370 กิโลกรัม, 7,890,813 กิโลกรัม, 361,943 กิโลกรัม, 818,017 กิโลกรัม, 25,484 กิโลกรัม และ 2,934 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สามารถดึงเอาวัสดุมีค่ากลับมาใช้ประโยชน์ได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นแนวทางที่เหมาะสมในการส่งเสริมให้เกิดการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตคือ การศึกษาและพัฒนาระบบในการนำกลับซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลอย่างเป็นระบบต่อไป

Abstract

Nowadays, the quantity of computer scraps both desktop and notebook computer in Thailand has increased continuously. In addition, Thailand still lack of the appropriate and efficient system for management. Hence, this research aims to investigate and estimate the quantity of recycled materials from computer scraps which reflect to the quantity of material can be reused. This research consists of the estimation of computer scraps, presenting of technologies and recycling processes, and the estimation of recycled materials. The results showed that the

estimation of quantity of computer scraps, desktop computer and notebook computer scraps in 2015 are about 4,222,291 units or 57.88% and 3,072,827 units or 42.12% respectively. For the application of the three levels of recycling technology with an efficiently recycling process can provide the quantity of materials in 2015, such as plastics, iron, aluminum, copper, lead, tin, silver and gold were equal 6,027,634 kg, 20,953,216 kg, 14,258,370 kg, 7,890,813 kg, 361,943 kg, 818,017 kg, 25,484 kg, and 2,934 kg respectively. As can be seen, the recycling process can provide valuable parts. Finally, the appropriate way for supporting the future management of computer scraps is to develop a system for taking computer scraps back and propose to the recycling process.

คำสำคัญ: ซากคอมพิวเตอร์ กระบวนการรีไซเคิล วัสดุรีไซเคิล

Keywords: computer scraps, recycling process, recycled materials

1. บทนำ

ปัญหาขยะจากซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electric Equipment, WEEE หรือ E-waste) กำลังเป็นปัญหาที่แผ่กระจายไปทั่วโลก ทำให้หลายประเทศให้ความสำคัญกับปัญหานี้ ทั้งการสร้างข้อกำหนดทางด้านกฎหมาย และการณรงค์เพื่อให้เกิดกระบวนการในการจัดการที่ดี ซึ่ง E-waste เหล่านี้ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ กล้องถ่ายรูป โทรศัพท์ โทรทัศน์ ตู้เย็น และ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น (1) สำหรับประเทศไทยนั้นจากการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณของ E-waste เกิดขึ้นประมาณ 58,000 ตัน ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) ได้ และส่วนที่เหลือนั้นก็สามารที่จะนำไปทำการรีไซเคิล (recycle) ได้สูงถึงร้อยละ 80 (2)

สำหรับข้อมูลของซาก E-waste ที่เกิดขึ้นทั่วโลกนั้น คอมพิวเตอร์ก็เป็นส่วนหนึ่งของ E-waste ที่กลายเป็นปัญหาสำคัญและมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์มีการเติบโตที่เร็วมาก ในขณะเดียวกันคอมพิวเตอร์ก็มีอัตราการล้าสมัยที่สูง และก่อให้เกิดปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ที่สูงตามมา โดยในปี ค.ศ. 2005 พบว่า ประเทศสหรัฐอเมริกา มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงถึง 250 ล้านเครื่อง (3) ในขณะที่ซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไต้หวันมีการคาดการณ์ว่าเกิดขึ้นในแต่ละปีประมาณ 300,000 เครื่อง (4) สำหรับประเทศไทยนั้น จากการสำรวจพบว่า ในอดีต

เมื่อปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์ถึง 2,105 ตัน ในขณะเดียวกันผลการสำรวจข้อมูลการบริโภคภายในประเทศของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดของเสียประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในปี พ.ศ. 2550 พบว่า ปริมาณการบริโภคคอมพิวเตอร์ภายในประเทศ มีถึง 280,659.57 ตันต่อปี (5) ซึ่งถือได้ว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก นอกจากนี้ข้อมูลจากงานวิจัยพบว่าปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงถึง 5,095,344 เครื่อง ซึ่งคำนวณโดยใช้อายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ปี และพิจารณาที่อัตราการเติบโตร้อยละ 20 (6) จากปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น ทำให้ต้องมีการศึกษาแนวทางในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบ ซึ่งประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ เช่น จีน เวียดนาม และลาว ก็ยังขาดระบบการจัดการ E-waste ที่ดี นอกจากนี้ประเทศเหล่านี้ยังเป็นแหล่งรองรับ E-waste จากประเทศพัฒนาแล้วส่งมาจัดทิ้งส่งมาแบบถูกต้อง และลักลอบส่งเข้ามาเพื่อทิ้งซาก ซึ่งเหตุผลสำคัญที่ส่งมายังทวีปเอเชียก็คือ ประเทศในเอเชียมีต้นทุนของแรงงานที่ต่ำมาก โดยพบว่าต้นทุนแรงงานในประเทศจีนนั้นเพียงแค่ \$1.50 ต่อวัน แต่ในสหรัฐอเมริกาจะสูงถึง \$5.50 ต่อชั่วโมง หรือ \$44 ต่อวัน (3)

สำหรับปัจจุบันนี้ประเทศไทยก็ยังคงขาดกระบวนการเชิงระบบในการเก็บรวบรวม การคัดแยก การรีไซเคิล และการกำจัดที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่ในปัจจุบันนั้น จะเป็นการถอดแยกชิ้นส่วนที่สามารถถอดแยกได้ ณ ร้านรับซื้อของเก่า ทำให้ชิ้นส่วนที่ไม่สามารถ

ถอดแยกได้ส่วนหนึ่งถูกกองทิ้งไว้ ก่อให้เกิดสารพิษซึมลงสู่พื้นดิน และอีกส่วนหนึ่งก็ถูกส่งไปบดทำลาย และฝังกลบ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการซึมผ่านของสารพิษลงสู่ระบบนิเวศเช่นกัน ทำให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยรูปแบบการรีไซเคิลที่มีอยู่ในปัจจุบันยังไม่สามารถนำซากคอมพิวเตอร์กลับมาใช้ได้หมด ทำให้สูญเสียมูลค่าเพิ่มจากชิ้นส่วนของวัสดุที่ไม่ได้รับการรีไซเคิลและถูกกำจัดไป ดังนั้นการศึกษาถึงเทคโนโลยีสำหรับการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม และเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถรีไซเคิลได้ทุกชิ้นส่วน พร้อมทั้งการนำเสนอปริมาณของวัสดุชนิดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังเช่น เงิน ทอง อลูมิเนียม ตะกั่ว เหล็ก และพลาสติก เหล่านี้เป็นต้น จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะสะท้อนให้เห็นถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์อย่างถูกวิธีตามหลักวิชาการ โดยปริมาณวัสดุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องนั้น ก็มีงานวิจัยที่ได้พยายามศึกษาถึงปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดเพื่อประมาณการนำหนักรวบรวมออกมา (7, 9-11) นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้คาดว่าจะได้รับการจากศึกษานี้ยังมีส่วนช่วยในการสนับสนุนการจัดการปัญหาซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ และสามารถนำเสนอข้อมูลเชิงปริมาณของวัสดุที่จะได้รับหากมีระบบในการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์แบบครบวงจรของประเทศไทยในอนาคตต่อไป

2. วิธีวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลซากคอมพิวเตอร์และประมาณการซากคอมพิวเตอร์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

โดยศึกษาข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ใน 2 ชนิด คือ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (desktop computer) และคอมพิวเตอร์แบบพกพา (notebook) ที่ใช้งานอยู่ในระดับครัวเรือน (household) ของทุกจังหวัดทั่วประเทศ โดยอาศัยข้อมูลปริมาณการใช้งานในอดีตที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2549 - 2554) เพื่อนำมาใช้ประมาณการจำนวนซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต ซึ่งอาศัยสมการที่ 1 ในการประมาณการซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและพกพา

(กำหนดอายุการใช้งานเฉลี่ย (n) ของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 5 ปี และแบบพกพาเท่ากับ 4 ปี)

$$S_t = Q_{t-n} \quad (1)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)
 S คือ ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)
 t คือ ปี พ.ศ. ที่พิจารณา
 n คือ อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์ (ปี)

2.2 ศึกษา และนำเสนอเทคโนโลยีและกระบวนการรีไซเคิล

ทำการศึกษาข้อมูลจากงานวิจัย และคู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (E-waste Management Manual) ที่มีรูปแบบในการจัดการอย่างเป็นระบบ และนำเสนอเทคโนโลยีสำหรับการรีไซเคิล เพื่อแยกเอาวัสดุกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอีกครั้งหนึ่ง

2.3 ประมาณการปริมาณวัสดุที่จะได้รับการรีไซเคิลในอนาคต

นำเสนอข้อมูลปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดในคอมพิวเตอร์ที่ได้จากการรีไซเคิล โดยนำเสนอปริมาณวัสดุที่ได้ ด้วยการพิจารณาระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิล (recycling efficiency) ซึ่งเป็นระดับเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ (จากคู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์) สำหรับการประมาณการปริมาณวัสดุนั้นจะอาศัย สมการที่ 2 ในการคำนวณ

$$M_i = S_t \times f_i \times e_i \quad (2)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล (กิโลกรัม)
 S คือ ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)
 f คือ ปริมาณวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ (กิโลกรัมต่อเครื่อง)
 e คือ ระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิลที่จะได้วัสดุออกมา (ร้อยละ)
 i คือ ชนิดของวัสดุ
 t คือ ปี พ.ศ. ที่พิจารณา

2.4 สรุปและนำเสนอข้อมูลเชิงปริมาณจากการศึกษา

สรุปผลการทำวิจัยที่ได้จากการเก็บรวบรวม และการวิเคราะห์ข้อมูล พร้อมทั้งนำเสนอข้อมูลเชิงปริมาณของวัสดุที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมให้เกิดการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมในอนาคตต่อไป

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การประมาณการซากคอมพิวเตอร์

ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในครัวเรือน ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2554 จากสำนักงานสถิติแห่งชาติ ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่า ปริมาณเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในประเทศนั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ปี จากข้อมูล

ดังกล่าวสามารถประมาณการซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ดังรูปที่ 1 โดยอาศัยสมการที่ 1 ในการประมาณการซากคอมพิวเตอร์ สำหรับอายุการใช้งาน (life time) ของคอมพิวเตอร์นั้น จากการศึกษาข้อมูลในหลายงานวิจัยได้นำเสนออายุการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยพบว่า อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์อยู่ระหว่าง 3-5 ปี กล่าวคือ อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 4-5 ปี ส่วนคอมพิวเตอร์แบบพกพาเท่ากับ 3-4 ปี แม้ว่าอายุการใช้งานจริงของคอมพิวเตอร์จะใช้งานได้ประมาณ 8 ปีก็ตาม แต่เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีทำให้คอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ๆ สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการนำข้อมูลการใช้งานคอมพิวเตอร์ในอดีตมาประมาณการจึงกำหนดให้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา มีอายุการใช้งาน (n) เท่ากับ 5 และ 4 ปี ตามลำดับ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าอายุการใช้งานของคอมพิวเตอร์จะลดลงเหลือเพียงแค่ 2-4 ปี (5)

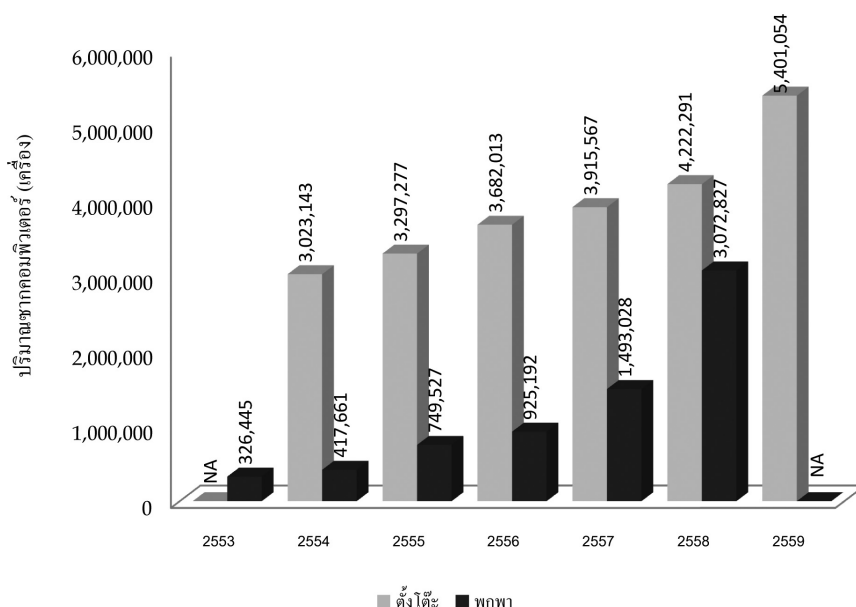
ตารางที่ 1. จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในครัวเรือนระหว่างปี พ.ศ. 2549-2554

กทม. /ภาค	ชนิดของคอมพิวเตอร์	ปริมาณเครื่องคอมพิวเตอร์ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2554 (เครื่อง)					
		2549	2550	2551	2552	2553	2554
กรุงเทพมหานคร	ตั้งโต๊ะ	752,776	771,761	819,640	823,154	907,849	872,714
	พกพา	120,476	151,625	249,832	307,846	475,193	685,359
ภาคกลาง	ตั้งโต๊ะ	807,236	915,596	1,055,799	1,099,665	1,195,495	1,718,626
	พกพา	83,745	90,258	164,365	207,149	341,825	770,071
ภาคเหนือ	ตั้งโต๊ะ	527,427	583,924	659,672	719,060	774,097	1,014,620
	พกพา	47,126	67,319	115,563	141,636	241,925	445,609
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ตั้งโต๊ะ	624,749	682,569	745,653	837,621	913,830	1,279,153
	พกพา	53,928	67,121	148,451	185,738	302,745	910,103
ภาคใต้	ตั้งโต๊ะ	310,955	343,427	401,250	436,068	431,019	515,943
	พกพา	21,170	41,338	71,315	82,823	131,340	261,685
ปริมาณรวมแต่ละชนิด (เครื่อง)	ตั้งโต๊ะ	3,023,143	3,297,277	3,682,013	3,915,567	4,222,291	5,401,054
	พกพา	326,445	417,661	749,527	925,192	1,493,028	3,072,827
ปริมาณรวมสุทธิ (เครื่อง)		3,349,588	3,714,938	4,431,540	4,840,759	5,715,319	8,473,881

ที่มา: สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2554 (8)

จะเห็นได้ว่า จากการคำนวณโดยอาศัยสมการที่ 1 พบว่า คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่ใช้งานในปี พ.ศ. 2549-2554 จะกลายเป็นซากในปี พ.ศ. 2554-2559 (ไม่มีข้อมูลซากในปี พ.ศ. 2553 เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลการใช้งานในปี พ.ศ. 2548 มาคำนวณ) ส่วนคอมพิวเตอร์แบบพกพา จะกลายเป็นซากในปี พ.ศ. 2553-2558 (ไม่มีข้อมูลซากในปี พ.ศ. 2559 เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลการใช้งานในปี พ.ศ. 2555 มาคำนวณ) จากข้อมูลดังกล่าวที่วิเคราะห์

ได้นั้นพบว่า สามารถนำเสนอปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต ดังเช่น ปี พ.ศ. 2558 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้ง 2 ชนิดของซากคอมพิวเตอร์ จะมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์รวมเท่ากับ 7,295,118 เครื่อง แบ่งเป็นซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ 4,222,291 เครื่อง และซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา 3,072,827 เครื่อง หรือคิดเป็นร้อยละ 57.88 และ 42.12 ของซากคอมพิวเตอร์ทั้งหมด ตามลำดับ



รูปที่ 1. การประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ทั้งประเทศที่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2553-2559

3.2 เทคโนโลยีและกระบวนการรีไซเคิล

จากการศึกษาข้อมูลจากงานวิจัย และคู่มือมาตรฐานเกี่ยวกับการจัดการซากคอมพิวเตอร์นั้น พบว่า ในหลายประเทศ เช่น ไต้หวัน สวิตเซอร์แลนด์ สวีเดน และญี่ปุ่น เป็นต้น ได้มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการกระบวนการรีไซเคิลอย่างเป็นระบบ ในทางกลับกัน การจัดการส่วนใหญ่ของประเทศไทยในปัจจุบันนั้นยังไม่เหมาะสมมากนัก จึงควรพิจารณาเพื่อนำระบบและเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในอนาคตต่อไป สำหรับเทคโนโลยีและกระบวนการรีไซเคิลนั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 ระดับเทคโนโลยีในการจัดการ

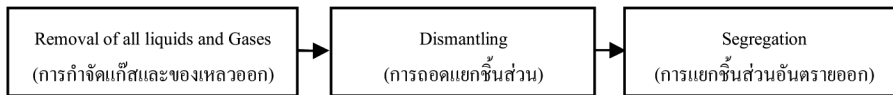
สำหรับระดับของเทคโนโลยีในการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งรวมถึงซากคอมพิวเตอร์ด้วยนั้น จากการศึกษาคู่มือ E-waste Management Manual พบว่า สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ซึ่งมีรายละเอียดโดยสรุปดังต่อไปนี้ (7)

3.2.1.1 การจัดการระดับที่หนึ่ง (First level treatment)

เป็นกระบวนการของการถอดแยกชิ้นส่วนที่ประกอบไปด้วยการดำเนินงาน 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2 ได้แก่ 1) การกำจัดแก๊สและของเหลวออก (removal of all liquids and gases) 2) การแยกชิ้นส่วน

(dismantling) โดยถอดแยกชิ้นส่วนทุกส่วนออก และ3) การแยก(segregation) ส่วนที่เป็นอันตรายออกไปจัดการในระดับที่สาม สำหรับผลผลิตที่ได้จากกระบวนการจัดการระดับที่หนึ่งนี้คือ ชิ้นส่วนที่ไม่มีสารอันตราย เช่น พลาสติก แผงวงจร และสายไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนชิ้นส่วน

ที่มีสารอันตราย เช่น สารทำความเย็น (CFC) สวิตช์ที่มีโลหะปรอทผสม หลอดภาพชนิดCRT แบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุ เป็นต้น จะถูกแยกไปจัดการโดยกระบวนการพิเศษหรือนำไปกำจัดต่อไป



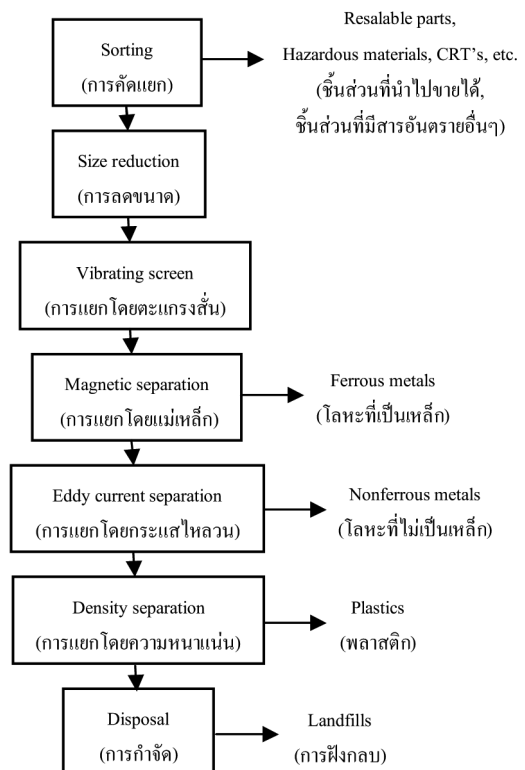
รูปที่ 2. การจัดการระดับที่หนึ่ง (First level treatment)

ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

3.2.1.2 การจัดการระดับที่สอง

(Second level treatment)

เป็นการแยกชิ้นส่วนที่ถอดแยกจากการจัดการระดับที่หนึ่ง ซึ่งมีอยู่ 3 ส่วนคือ 1) เครื่องทุบ (hammer) เพื่อลดขนาด 2) เครื่องบดย่อย (shredding) และ 3) กระบวนการจัดการพิเศษ (special treatment processes) ได้แก่ การแยกหลอดภาพชนิด CRT และชิ้นส่วนที่มีสารอันตราย การแยกด้วยแม่เหล็ก (electromagnetic separation) การแยกด้วยกระแสไหลวน (eddy current separation) การแยกโดยความหนาแน่น (density separation) ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3 สำหรับผลผลิตที่ได้จากกระบวนการระดับที่สองนี้ ได้แก่ เศษโลหะที่เป็นเหล็ก เศษโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (ส่วนใหญ่เป็นอลูมิเนียมและทองแดง) เศษโลหะที่มีค่า และพลาสติกต่างๆ



รูปที่ 3. การจัดการระดับที่สอง (Second level treatment)

ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

3.2.1.3 การจัดการระดับที่สาม (Third level treatment)

เป็นกระบวนการรีไซเคิลเพื่อให้ได้วัสดุหรือสิ่งที่มีค่ากลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง เช่น พลาสติก เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และโลหะมีค่าอื่นๆ ได้แก่ ทอง เงิน แพลทินัม และพลาเดียม เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านั้น

จะเป็นชิ้นส่วนที่ได้ทำการแยกออกมาจากการจัดการระดับที่สองและระดับที่หนึ่ง โดยใช้กระบวนการและเทคโนโลยีรีไซเคิลหลายกระบวนการ และจะได้ผลผลิตออกมาหลากหลายรูปแบบดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. รายละเอียดการจัดการระดับที่สาม (Third level treatment)

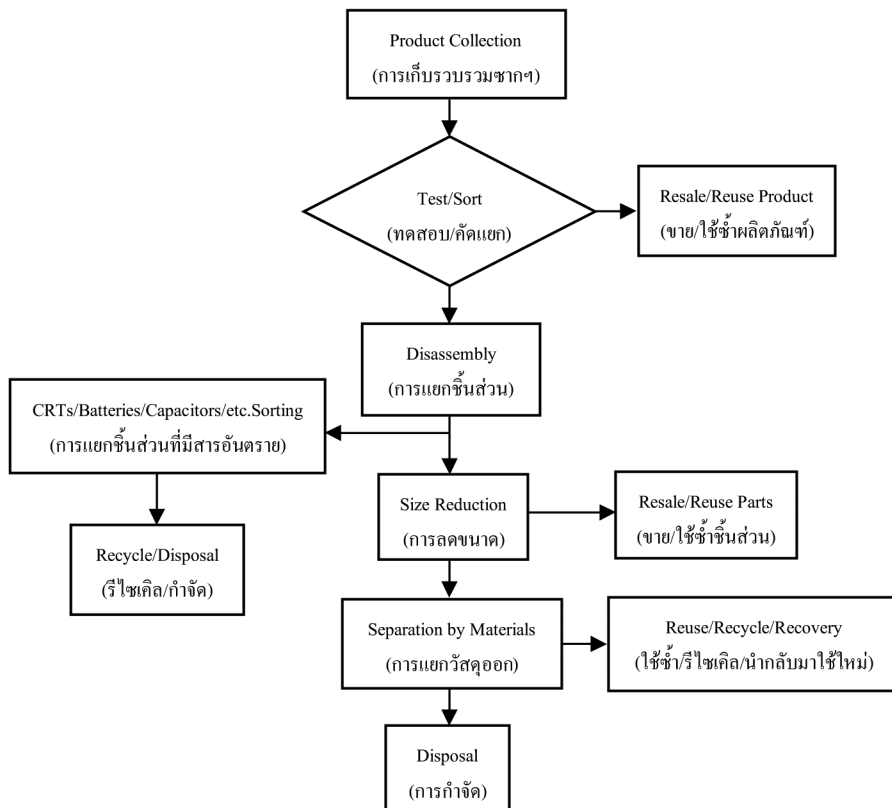
วัสดุนำเข้า (input)	กระบวนการที่ใช้ (process)	ผลผลิตที่ได้ (output)
พลาสติกแยกชนิด	การรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์พลาสติก
พลาสติกผสม	การใช้เป็นพลังงาน/ การเผาทำลาย	พลังงานที่นำกลับมาใช้
พลาสติกผสมและสารหน่วงไฟ	การเผาทำลาย	พลังงานที่นำกลับมาใช้
หลอดภาพแบบ CRT	การทำลาย/ การรีไซเคิล	เศษแก้ว
ชิ้นส่วนตะกั่ว	การถลุงแร่ตะกั่ว	ตะกั่ว
เศษโลหะที่เป็นเหล็ก	การรีไซเคิลเหล็กและเหล็กกล้า	เหล็ก
เศษโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	การหลอมทองแดงและอลูมิเนียม	ทองแดง/ อลูมิเนียม
โลหะที่มีค่า	การแยกทอง/ เงิน (การทำให้บริสุทธิ์)	ทอง/ เงิน/ แพลทินัม/ พลาเดียม
แบตเตอรี่	การหลอมและดึงตะกั่วกลับมาใช้ใหม่/ การแยก	ตะกั่ว
สารทำความเย็น (CFC)	การดึงกลับมาใช้อีกครั้ง/ การใช้ซ้ำ/ การเผาทำลาย	สาร CFC/ พลังงานที่นำกลับมาใช้
น้ำมัน	การดึงกลับมาใช้อีกครั้ง/ การใช้ซ้ำ/ การเผาทำลาย	น้ำมัน/ พลังงานที่นำกลับมาใช้
ตัวเก็บประจุ	การเผาทำลาย	พลังงานที่นำกลับมาใช้
ปรอท	การแยกและการกลั่น	ปรอท

ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

3.2.2 กระบวนการรีไซเคิล

สำหรับกระบวนการรีไซเคิลโดยทั่วไปนั้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4 โดยหากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกเก็บรวบรวมได้ จะถูกนำมาทดสอบและคัดแยกเพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปขายหรือใช้ซ้ำได้ออกมา ส่วนชิ้นส่วนอื่นจะทำการแยกชิ้นส่วน (disassembly) โดยการแยกชิ้นส่วนนั้นจะแยกชิ้นส่วนที่มีสารอันตรายผสมอยู่ ได้แก่ หลอดภาพ

ชนิด CRT แบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุ เป็นต้น เพื่อนำไปสู่กระบวนการรีไซเคิลและกำจัดต่อไป ส่วนชิ้นส่วนอื่นที่ไม่มีสารอันตรายจะนำไปลดขนาด (size reduction) ซึ่งบางชิ้นส่วนจะสามารถนำไปขายหรือใช้ซ้ำได้ ส่วนกระบวนการถัดไปนั้นจะเป็นการแยกวัสดุ (separation by materials) โดยในระดับนี้วัสดุที่ได้ก็สามารถนำไปใช้ซ้ำรีไซเคิล หรือนำกลับไปใช้ใหม่ ส่วนของเสียที่เกิดขึ้นก็จะทำการกำจัด (disposal) ในลำดับต่อไป



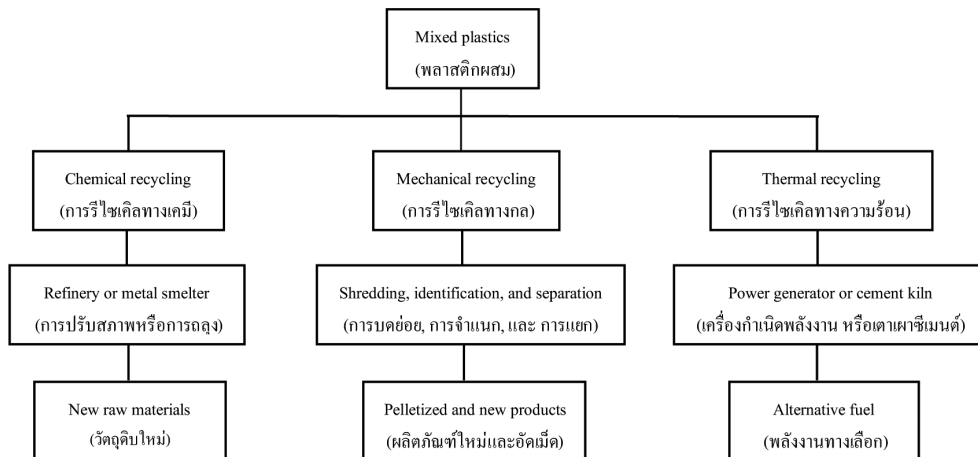
รูปที่ 4. กระบวนการรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

ในส่วนของการละเอียดกระบวนการรีไซเคิลชิ้นส่วนนั้น จะนำเสนอตัวอย่างของกระบวนการรีไซเคิลชิ้นส่วนพลาสติก และชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ดังนี้

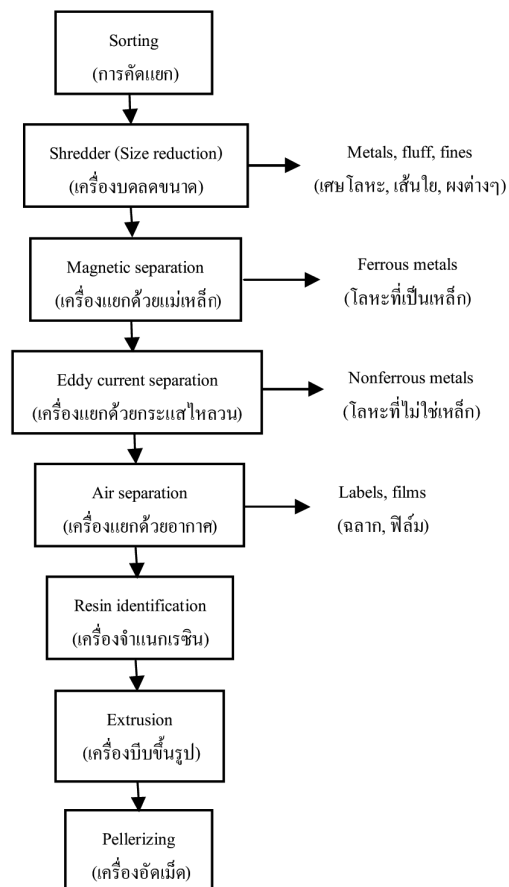
3.2.2.1 กระบวนการรีไซเคิลพลาสติก

กระบวนการรีไซเคิลพลาสติกโดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 วิธีการ คือ กระบวนการรีไซเคิลทางกล (mechanical recycling) กระบวนการรีไซเคิลทางเคมี (chemical recycling) และกระบวนการรีไซเคิลทางความร้อน (thermal recycling) โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 5 สำหรับกระบวนการรีไซเคิลทางกลนั้น จะมีกระบวนการของการคัดแยก การลดขนาด และกระบวนการแยก ได้แก่ การแยกด้วยแม่เหล็ก การแยกด้วยกระแสไหลวน และการแยกด้วยอากาศ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการ

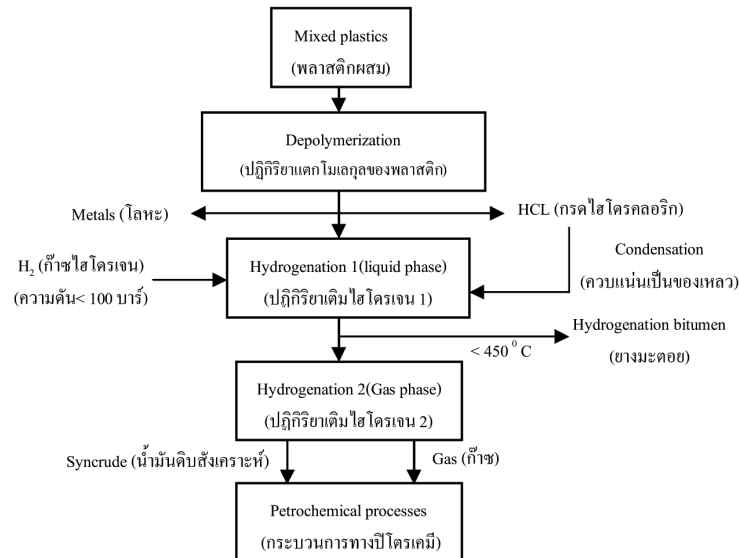
จำแนกชิ้นส่วนด้วยเรซินก่อนเข้าสู่กระบวนการบดชิ้นรูป และอัดเม็ดพลาสติกเป็นกระบวนการถัดไป ดังรายละเอียดในรูปที่ 6 ส่วนกระบวนการรีไซเคิลทางเคมีนั้น ชิ้นส่วนพลาสติกผสมจะเข้าสู่กระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 และกระบวนการสุดท้ายคือ การนำผลผลิตที่ได้ ได้แก่ น้ำมันดิบและก๊าซไปใช้งานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่อไป ดังรูปที่ 7 ส่วนกระบวนการอีกอย่างหนึ่ง คือ กระบวนการรีไซเคิลทางความร้อน โดยจะใช้พลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในส่วนของการก่อเกิดพลังงาน หรือเตาเผาซีเมนต์ เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่มีประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูง



รูปที่ 5. กระบวนการรีไซเคิลพลาสติก
ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

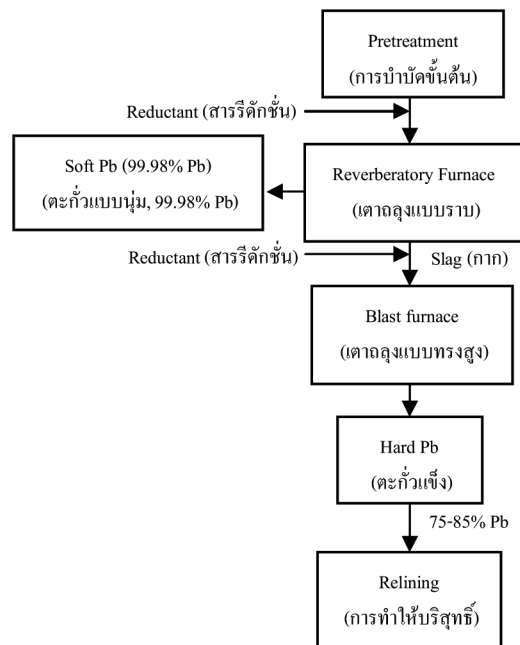


รูปที่ 6. กระบวนการรีไซเคิลทางกลของพลาสติก
ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

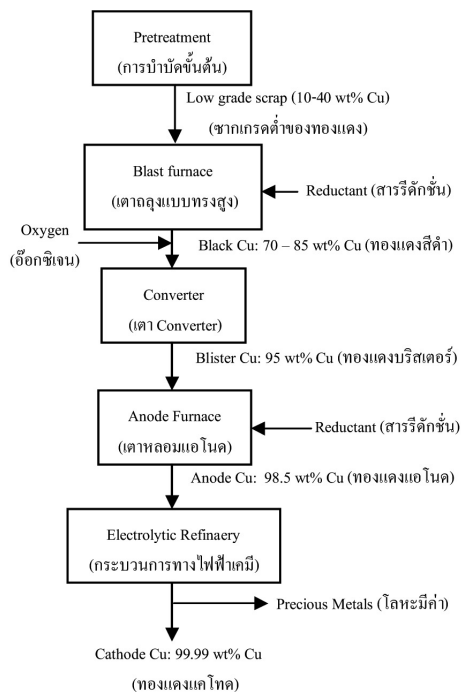


รูปที่ 7. กระบวนการรีไซเคิลทางเคมีของพลาสติก
ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

3.2.2.2 กระบวนการรีไซเคิลโลหะ สะท้อนถึงรูปที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการรีไซเคิล
ในส่วนนี้จะนำเสนอการรีไซเคิลโลหะที่สำคัญ เพื่อดึงโลหะกลับมาใช้ประโยชน์
3 ชนิดหลัก คือ ตะกั่ว ทองแดง และโลหะมีค่า ตามราย

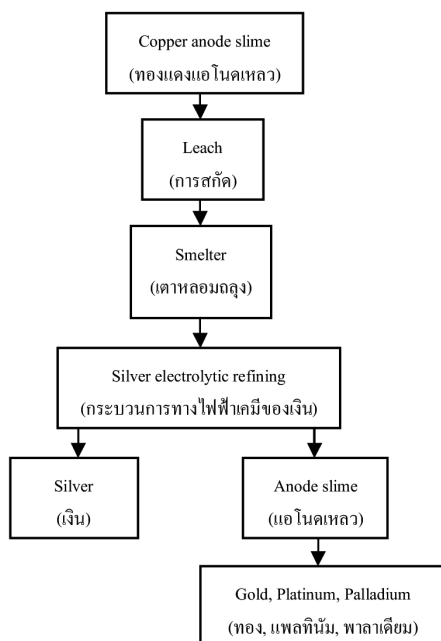


รูปที่ 8. กระบวนการรีไซเคิลตะกั่ว
ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)



รูปที่ 9. กระบวนการรีไซเคิลทองแดง

ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)



รูปที่ 10. กระบวนการรีไซเคิลโลหะมีค่า

ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 (7)

3.3 การประมาณการวัสดุรีไซเคิล

ในการประมาณการวัสดุที่จะได้รับจากการรีไซเคิลจากคอมพิวเตอร์นั้น สิ่งสำคัญที่ต้องศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณและประมาณการปริมาณวัสดุแต่ละชนิดนั้นก็คือ องค์ประกอบของวัสดุชนิดต่างๆที่มีในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพบว่า วัสดุสำคัญที่เป็นองค์ประกอบของเครื่องคอมพิวเตอร์แสดงรายละเอียดโดยสรุปได้ดังตารางที่ 3

สำหรับปริมาณวัสดุในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะนั้น ข้อมูลของทั้งสองงานวิจัยมีทั้งตัวเลขของน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันและแตกต่างกันในแต่ละวัสดุ โดยบทความนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลจาก E-waste Management Manual (7) เนื่องจากมีความใหม่และเป็นมาตรฐานกว่า ส่วนปริมาณวัสดุของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาได้เลือกใช้ข้อมูลของ Deng L. และคณะ (11) ซึ่งมีองค์ประกอบของข้อมูลวัสดุที่จะศึกษาครบถ้วนมาใช้ในการประมาณการ

ตารางที่ 3. ประมาณการองค์ประกอบของวัสดุสำคัญในเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง

ชนิดวัสดุ	วัสดุในคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (กิโลกรัม/เครื่อง)		วัสดุในคอมพิวเตอร์แบบพกพา (กิโลกรัม/เครื่อง)	
	¹ EMM	² Williams E D.& Sasaki Y.	³ Deng L.et al.	⁴ IVM
พลาสติก (Plastics)	6.25	4.18	1.22	0.849
เหล็ก (Iron)	5.57	8.88	0.87	0.489
อลูมิเนียม (Aluminum)	3.85	0.68	0.51	0.038
ทองแดง (Copper)	1.88	1.37	0.27	0.075
ตะกั่ว (Lead)	1.71	0.62	0.0061	NA
ดีบุก (Tin)	0.27	0.49	0.0093	NA
เงิน (Silver)	0.00514	0.00264	0.00140	NA
ทอง (Gold)	0.00044	0.00067	0.00036	NA
อื่นๆ (Others)	7.68	8.27	0.89	2.104

ที่มา: ปรับจาก ¹EMM, E-waste Management Manual, 2007(7) / ²Williams E D.& Sasaki Y., 2003(10) /

³Deng L.et al., 2011(9) / ⁴IVM, Industrial Research and Development Corporation, 2007(11)

หมายเหตุ: NA คือ ไม่ระบุปริมาณของวัสดุชนิดดังกล่าว

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสามารถนำมาประมาณการปริมาณวัสดุที่คาดว่าจะได้รับจากการรีไซเคิลในอนาคต หากมีระดับของเทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีศักยภาพสูงในการรีไซเคิลจากคอมพิวเตอร์แบบเฉพาะทาง โดยอาศัยข้อมูลปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 1 และข้อมูลองค์ประกอบของวัสดุสำคัญในเครื่องคอมพิวเตอร์ในตารางที่ 3 มาใช้ในการคำนวณเพื่อประมาณการปริมาณวัสดุแต่ละชนิดที่จะได้รับจากการรีไซเคิล

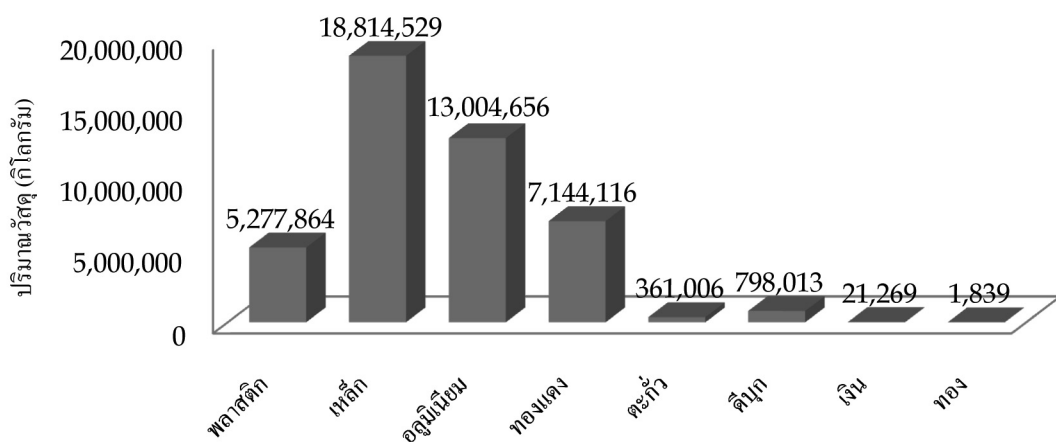
สำหรับในส่วนนี้จะอาศัยการพิจารณาระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิล (recycling efficiency) ซึ่งเป็นระดับเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณวัสดุที่จะได้รับจากการรีไซเคิล โดยจะอาศัยข้อมูลปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2558 มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ ซึ่งผลที่ได้นั้นแสดงดังตารางที่ 4 โดยการประมาณการปริมาณวัสดุนั้นจะคำนวณจากสมการที่ 2 ตัวอย่างเช่น ปริมาณพลาสติก (จากซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ) เท่ากับ

5,277,864 กิโลกรัม เกิดจากการคูณกันของ ปริมาณซาก คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (4,222,291 เครื่อง) ปริมาณวัสดุ ที่เป็นองค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ (6.25 กิโลกรัมต่อ เครื่อง) และระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิลที่จะ ได้วัสดุออกมา (ร้อยละ20) เป็นต้น นอกจากนี้สามารถ นำเสนอปริมาณวัสดุที่จะได้รับการรีไซเคิลได้ดังรูป ที่ 11, 12 และ 13 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณวัสดุจากซาก คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ ซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา และซากคอมพิวเตอร์รวม ตามลำดับ

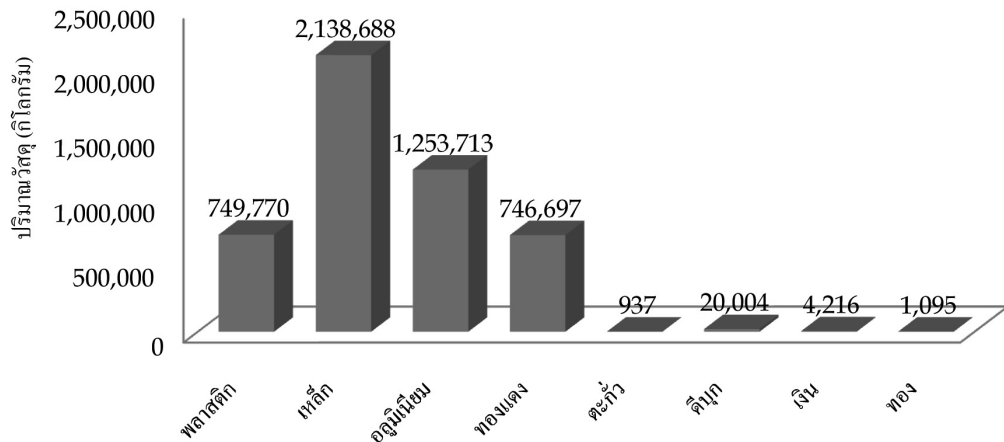
ตารางที่ 4. การประมาณการปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ในปี พ.ศ. 2558

ชนิดวัสดุ	ระดับประสิทธิภาพ การรีไซเคิล (%)	ปริมาณวัสดุรีไซเคิล จากซากคอมพิวเตอร์ แบบตั้งโต๊ะ (กิโลกรัม)	ปริมาณวัสดุรีไซเคิล จากซากคอมพิวเตอร์ แบบพกพา (กิโลกรัม)	ปริมาณวัสดุ รีไซเคิลรวม (กิโลกรัม)
พลาสติก	20	5,277,864	749,770	6,027,634
เหล็ก	80	18,814,529	2,138,688	20,953,216
อลูมิเนียม	80	13,004,656	1,253,713	14,258,370
ทองแดง	90	7,144,116	746,697	7,890,813
ตะกั่ว	5	361,006	937	361,943
ดีบุก	70	798,013	20,004	818,017
เงิน	98	21,269	4,216	25,484
ทอง	99	1,839	1,095	2,934

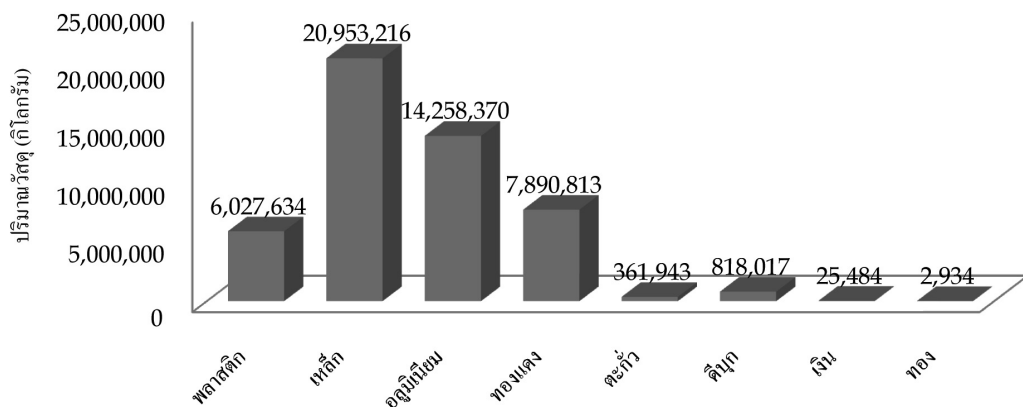
ที่มา: การคำนวณโดยผู้วิจัย / ¹E-waste Management Manual, 2007 (7)



รูปที่ 11. การประมาณการปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ในปี พ.ศ. 2558 (ปริมาณวัสดุจากซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ)



รูปที่ 12. การประมาณการปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ในปี พ.ศ. 2558
(ปริมาณวัสดุจากซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา)



รูปที่ 13. การประมาณการปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ในปี พ.ศ. 2558
(ปริมาณวัสดุจากซากคอมพิวเตอร์รวม)

4. สรุป

จากการศึกษาปริมาณวัสดุที่จะได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์นั้นพบว่า สามารถประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ซึ่งเป็นตัวอย่างของการศึกษาเพื่อนำเสนอให้เห็นถึงปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี และเมื่อได้ศึกษาถึงเทคโนโลยีและกระบวนการในการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพนั้น ทำให้ทราบถึงขั้นตอนต่างๆ ของการรีไซเคิลเพื่อนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ โดยพบว่า การ

รีไซเคิลที่สมบูรณ์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการทั้งสามระดับของการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้เมื่อได้ศึกษาถึงองค์ประกอบที่เป็นวัสดุในซากคอมพิวเตอร์ แล้วเลือกวัสดุตัวอย่างที่มีศักยภาพในการรีไซเคิลเพื่อนำเสนอ อันได้แก่ พลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ตะกั่ว ดีบุก เงิน และทอง โดยได้ทำการประมาณการปริมาณวัสดุแต่ละชนิดดังกล่าวออกมา แบ่งตามประสิทธิภาพของการรีไซเคิลเพื่อนำเสนอให้เห็นถึงปริมาณของวัสดุจำนวนมากที่สามารถ

- นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งพบว่า หากมี (3) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ แล้วนั้น จะสามารถรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้มา ซึ่งวัสดุต่างๆจำนวนมาก ในขณะที่เดียวกันวัสดุที่มีมูลค่า (4) สูง ตัวอย่างเช่น เงิน และทอง เป็นต้น ก็เป็นผลผลิตหนึ่ง ที่ได้รับการรีไซเคิลดังกล่าว นอกจากนี้ปริมาณวัสดุ (5) แต่ละชนิดที่คาดการณ์ว่าจะรีไซเคิลออกมาได้ สามารถ นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้น ส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย (6) ทั้งนี้การนำเอาวัสดุรีไซเคิลที่มีคุณภาพมาใช้ใหม่อีกครั้ง สามารถที่จะแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการทิ้ง และการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ตลอดจนการลดต้นทุน (7) การจัดซื้อและนำเข้าวัตถุดิบตั้งต้นจากต่างประเทศ ดัง เช่น ประเทศไต้หวัน เกาหลี ญี่ปุ่น จีน สิงคโปร์ และ (8) เยอรมัน เป็นต้น ลงได้ ดังนั้นแนวทางที่เหมาะสมในการ ส่งเสริมให้เกิดการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต คือ การศึกษาและพัฒนาระบบในการนำกลับซาก (9) คอมพิวเตอร์เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลอย่างเป็นระบบ ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.)ที่สนับสนุนทุนอุดหนุน งานวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2554 ซึ่งบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยและขอขอบคุณ สำหรับทุกคำแนะนำในการปรับปรุงบทความฉบับนี้เพื่อ ความถูกต้องและสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Jinhui L, Huabo D, Wenyi Y. Case study of a Suzhou pilot project on the suitable treatment technology for scrap computers in China. Sustainable Systems and Technology J. 2009; 1-5.
- (2) Pollution Control Department. E-waste Management Manual. 2008. 200 p. Thai.
- (3) Dhanda K K, Peters A A. Reverse logistics in the computer industry. Int J Computers, Systems and Signals. 2005;6(2): 57-67.
- (4) Lee C H, Chang S L, Wang K M, Wen L C. Management of scrap computer recycling in Taiwan. Hazardous Materials J. 2000;73: 209-20.
- (5) Pollution Control Department, Thailand. A Study Project on Criteria and Fees of Thailand's WEEE Management. 2010. Thai.
- (6) Yindee K. Obsolete Personal Computers (PCs): The Feasibility End-of-Life Options for Thailand. [MSc thesis]. Mahidol: Mahidol University; 2004. Thai.
- (7) United Nations Environmental Programme. E-waste Management Manual. Japan. 2007;2: 128 p.
- (8) National Statistical Office, Thailand. [Internet] 2012 Jun 15. Available from: http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/search_center/23project-th.htm
- (9) Deng L, Babbitt C W, Williams E D. Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer. Cleaner Production J. 2011;19: 1198-206.
- (10) Williams E D, Sasaki Y. Energy Analysis of End-of-life Options for Personal Computer: Resell, Upgrade, Recycle. Proceeding of the 2003 IEEE International Symposium on Electronics and Environment, IEEE: Piscataway, New Jersey. 2003: 187-92.
- (11) IVF Industrial Research and Development Corporation. Lot 3: Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, Final Report (Task1-8), European Commission DG TREN, Preparatory studies for Eco-design Requirements of EuPs; IVF Industrial Research and Development Corporation. Molndal, Sweden. 2007. [Internet] 2012 Jun 12. Available from: <http://www.ecocomputer.org/>