



การออกแบบระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทย Design of a Callback System for Computer Scraps in Thailand

อภิชาต กำเนิดัว¹, รัญชนา สินธวาลัย^{1*}, วณิดา รัตนมณี¹, วรณรัช สันติอมรทัต²

Apichon Kamnerdwam¹, Runchana Sinthavalai^{1*}, Wanida Rattanamane¹, Wannarat Suntiamorntut²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Correspondent author: runchana.s@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุการใช้งานหรือซากคอมพิวเตอร์ที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ยังขาดระบบการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนศักยภาพในการรีไซเคิล งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยการศึกษาสภาพปัญหาและการจัดการในปัจจุบัน การศึกษาลยุทธ์และวิธีการแก้ไข การออกแบบระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ และการวิเคราะห์กลไกการเรียกคืน จากการศึกษาพบว่า ระบบใหม่ของการเรียกคืนประกอบด้วย 6 ส่วนหลัก คือ แหล่งของซาก จุดเรียกคืน ศูนย์เรียกคืน ศูนย์รวบรวม โรงงานรีไซเคิล และตลาดวัสดุ ซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบในการขับเคลื่อนกลไกการเรียกคืนเพื่อการรีไซเคิลภายใต้แนวคิดของหลัก 3Rs หลัก EPR ระเบียบ WEEE และระเบียบ RoHS ผ่านการบริหารจัดการและควบคุมดูแลโดยหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน หรือความร่วมมือของสองหน่วยงาน

Abstract

Nowadays, the quantity of end-of-life computer or computer scraps in Thailand has increased continuously. In addition, Thailand still lack of the collection system to an efficiently recycling process. This could effect to human, environment and recycling potential process. Hence, this research aims to investigate and design a callback system for computer scraps in Thailand. This research consists of the study of current problem and management, the study of strategy and solution, reverse logistics network design, and analysis of the strategy in callback system. The results showed that the designed callback system consists of six parts; source of scraps, callback point, callback center, collection center, recycling plant, and material market. There are used as components in the strategy of a callback system for recycling with the 3Rs, EPR principle and WEEE, and RoHS regulation. This designed system can be managed and controlled by the public sector, private sector, or both.

คำสำคัญ: ซากคอมพิวเตอร์ ระบบการเรียกคืน โลจิสติกส์ย้อนกลับ

Keywords: Computer Scraps, Callback System, Reverse Logistics

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่แผ่ขยายไปทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยด้วย คือ ปัญหาซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electric Equipment; WEEE หรือ E-waste) ซึ่งพบว่าประเทศไทยนั้นยังขาดการจัดการซาก E-waste ที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากยังไม่มีระบบการเก็บรวบรวม การคัดแยก การรีไซเคิล และการกำจัดที่เหมาะสมและเป็นระบบมากนัก อีกทั้งยังขาดแคลนบุคลากรผู้ชำนาญการ และองค์ความรู้หรือเทคโนโลยีการจัดการที่เหมาะสมอีกด้วย (1) โดยพบว่า ในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีซาก E-waste เกิดขึ้นประมาณ 2 ล้านชิ้น หรือคิดเป็น 7,000 ตัน ซึ่งซาก E-waste ดังกล่าวนั้นมีศักยภาพในการนำมารีไซเคิลประมาณร้อยละ 80 แต่พบว่าซาก E-waste ที่เกิดขึ้นในประเทศไทยประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณซาก E-waste ทั้งหมดจากครัวเรือนถูกทิ้งไปพร้อมกับมูลฝอยทั่วไปโดยไม่ได้รับการรีไซเคิล (2)

สำหรับปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ พบว่า ในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์เกิดขึ้นถึง 2,105 ตัน (3) ในขณะที่ข้อมูลจากการวิจัยพบว่า ในปี พ.ศ. 2548 2553 และ 2558 จะมีปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่หมดอายุการใช้งานเกิดขึ้นประมาณ 1,193,600 5,095,344 และ 14,798,809 เครื่อง ตามลำดับ (4) ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมากที่จะก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการในอนาคต โดยพบว่าแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาซากคอมพิวเตอร์นั้น สามารถนำระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) มาใช้ในการจัดการ ซึ่งระบบนี้ถูกนำมาใช้แก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการจัดการซากผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย (5, 6) นอกจากนี้ระบบนี้ยังถูกนำไปปรับใช้ในการจัดทำระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ใน 5 ขั้นตอน คือ การลดการใช้ทรัพยากร การนำคอมพิวเตอร์กลับมาใช้ใหม่ การปรับสภาพคอมพิวเตอร์ การนำซากมารีไซเคิล และการกำจัดที่เหมาะสม (7) ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการนำระบบโลจิสติกส์มาใช้ในการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์คือการเพิ่มมูลค่าหรือการกำจัดซากของเสียที่เก็บรวบรวมมา

ได้ในปัจจุบันพบว่ากระบวนการจัดการซากคอมพิวเตอร์ด้วยการรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีศักยภาพนั้น สามารถดึงเอาวัสดุจากส่วนประกอบหลักของซากคอมพิวเตอร์กลับมาใช้ใหม่ได้ถึงร้อยละ 94.75 โดยน้ำหนัก และจากส่วนประกอบของหน้าจออีกร้อยละ 45.99 โดยน้ำหนัก (8) และเทคโนโลยีดังกล่าวมีแนวโน้มด้านศักยภาพที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตเช่นกัน

จากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าปัญหาซากคอมพิวเตอร์เป็นปัญหาที่สำคัญมาก ซึ่งควรมีการนำเสนอแนวทางในการวางระบบเพื่อแก้ปัญหาในภาพรวมของทั้งประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากซากคอมพิวเตอร์สามารถรีไซเคิลออกมาเป็นวัสดุได้ในปริมาณมากและวัสดุบางชนิดนั้นมีมูลค่าสูง ดังเช่น เงิน และทอง เป็นต้น ดังนั้นแนวทางที่เป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหาในระยะยาว คือการสร้างระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบ จึงนำไปสู่การออกแบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์รูปแบบใหม่เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในการขับเคลื่อนกลไกของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตต่อไป

2. วิธีวิจัย

2.1 ศึกษาสภาพปัญหาและการจัดการในปัจจุบัน

เป็นการศึกษาข้อมูลปัญหาจากการทบทวนวรรณกรรมและหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาการจัดการของผู้บริโภค ปัญหาของร้านรับซื้อของเก่า ปัญหาของผู้ประกอบการรีไซเคิล ภาพรวมของปัญหาเชิงระบบ และรูปแบบการจัดการในปัจจุบัน

2.2 ศึกษากลยุทธ์และวิธีการแก้ไขปัญหา

เป็นการศึกษาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยภาพรวม ซึ่งประกอบไปด้วย การแก้ไขพฤติกรรมของผู้บริโภค การผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การรณรงค์เพื่อแก้ไขปัญหาของร้านรับซื้อของเก่า และการจัดการซาก E-waste ของหน่วยงานภาครัฐ ที่ได้มีการศึกษาถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาซาก E-waste ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

2.3 ออกแบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ

เป็นการออกแบบโดยพิจารณาจากการทำงานของระบบและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำองค์ประกอบที่เหมาะสมกับปัญหาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics network design) และนำมาพิจารณาประกอบการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันของประเทศไทย

2.4 วิเคราะห์หลักการเรียกคืน

เป็นการนำเสนอระบบใหม่ของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ โดยทำการวิเคราะห์หลักการเรียกคืนภายใต้แนวคิดสำคัญได้แก่ หลัก 3Rs (Reduce, Reuse, and Recycle) หลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility; EPR) หลักการสำคัญในระเบียบ WEEE (Waste Electrical and Electric Equipment) หลักการสำคัญในระเบียบ RoHS (Restriction

of certain Hazardous Substance) มาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาประกอบการวิเคราะห์เพื่อสรุปผลต่อไป

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในส่วนนี้เป็นผลจากการศึกษาซึ่งประกอบไปด้วยผลจากการศึกษาข้อมูลทฤษฎี การออกแบบ การวิเคราะห์ และการอภิปรายผล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 สภาพปัญหาและการจัดการในปัจจุบัน

3.1.1 ปัญหาการจัดการของผู้บริโภค

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า คนไทยส่วนใหญ่ยังให้ความสำคัญกับการจัดการซากคอมพิวเตอร์น้อยมากโดยผู้คนส่วนใหญ่จะจัดการกับซากคอมพิวเตอร์ด้วยการเก็บไว้ที่บ้านโดยไม่ได้ใช้งาน ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบการจัดการได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. รูปแบบพฤติกรรมการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของคนไทย

ชนิดของคอมพิวเตอร์	สัดส่วนของรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ (ร้อยละ)					
	เก็บไว้ที่บ้านไม่ได้ใช้งาน	บริจาคให้ญาติ/ผู้อื่น	ทิ้งรวมกับขยะทั่วไป	ขายให้ชาเล้ง/ร้านรับซื้อของเก่า	นำของเก่าไปแลกของใหม่	อื่นๆ
แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ CRT	53.18	26.59	5.78	8.67	4.62	1.16
แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ LCD	28.57	46.94	14.29	8.16	2.04	0
แบบพกพา	47.37	28.07	14.04	7.02	3.51	0

ที่มา: ปรับจาก กรมควบคุมมลพิษ (3)

3.1.2 ปัญหาของร้านรับซื้อของเก่า

ปัจจุบันยังคงมีร้านรับซื้อของเก่าจำนวนมากที่มีรูปแบบจัดการและการปฏิบัติที่ไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อม โดยพบว่า ในปี พ.ศ. 2550 นั้น ประเทศไทยมีร้านรับซื้อของเก่าทั่วประเทศ ประมาณ 10,200 ร้าน (9) และแม้ว่าบางร้านจะมีการจัดการที่ดี แต่ร้านรับซื้อของเก่าส่วนใหญ่ก็มีการ

สะสมวัตถุสิ่งของที่ชำรุด สิ่งของใช้แล้วหรือเหลือใช้ไว้ในร้าน เพื่อรวบรวมไว้รอการขนส่งหรือจำหน่ายต่อไป หากผู้ประกอบการขาดความรู้และความเข้าใจในการจัดการ ก็อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยสามารถแสดงตัวอย่างปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ณ ร้านรับซื้อของเก่าได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ตัวอย่างปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ณ ร้านรับซื้อของเก่า

รูปแบบการจัดการ	ปัญหาที่เกิดขึ้น
การกองสะสมซาก	การกองสะสมซาก และการกองซากทิ้งไว้ที่ไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดการซึมผ่านของสารพิษลงสู่ระบบนิเวศน์และสิ่งแวดล้อม
การถอดรื้อหรือแยกชิ้นส่วน	การถอดรื้อหรือแยกชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ไม่มีการสวมอุปกรณ์ป้องกัน ก่อให้เกิดการปนเปื้อนสารพิษเข้าสู่ร่างกาย
การเผาเผาของซาก	การเผาเผาของซากของคอมพิวเตอร์เพื่อหลอมตะกั่วและทองแดง ทำให้ไอระเหยแพร่กระจายสู่ร่างกายผ่านการหายใจ
การเผาสายไฟ	การเผาสายไฟในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำทองแดงไปขาย ทำให้เกิดไอระเหยของพลาสติกและโลหะบางส่วนซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคมะเร็ง

3.1.3 ปัญหาของผู้ประกอบการรีไซเคิล

แม้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยจะมีกลุ่มผู้ประกอบการรีไซเคิลบางกลุ่มที่มีการดำเนินกิจการที่ได้มาตรฐาน สามารถพัฒนาเทคโนโลยีในการสกัดโลหะมีค่าจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และมีระบบการควบคุมมลพิษที่ดี แต่ในภาพรวมของการจัดการซาก E-waste โดยรวมทั้งชิ้นของผลิตภัณฑ์ ยังมีประเด็นปัญหาดังนี้

- 1) ไม่มีกระบวนการจัดการซากทุกชิ้นส่วนอย่างเต็มรูปแบบ
- 2) มีการถอดรื้อ และการคัดแยกซาก E-waste อย่างไม่เหมาะสมของกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยที่ไม่ได้จดทะเบียนอย่างถูกต้อง
- 3) ขาดการผลักดันจากภาครัฐให้เกิดระบบการเก็บรวบรวมซาก ที่สามารถสร้างความมั่นใจถึงปริมาณที่เพียงพอผ่านระบบการรับซื้อคืน
- 4) ขาดการสนับสนุนเงินอุดหนุนสำหรับการรีไซเคิลซาก E-waste ที่ไม่มีกำไร อาทิเช่น ซากหลอดไฟ และซากถ่านไฟฉาย เหล่านี้เป็นต้น

3.1.4 ภาพรวมปัญหาเชิงระบบ

สำหรับปัญหาโดยรวมทั้งระบบนั้น พบว่าประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่มีระบบของการรีไซเคิล E-waste ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจอย่างครบวงจร โดยมีปัญหาสำคัญอยู่ที่การเก็บรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อส่งต่อไปยังโรงงานที่มีกระบวนการรีไซเคิลที่ได้รับใบอนุญาตจากทางราชการ นอกเหนือจากของเก่าที่ถูกเก็บ

ไว้ในครัวเรือนและซากที่ถูกทิ้งปะปนไปกับขยะมูลฝอยทั่วไปแล้ว E-waste ส่วนมากยังถูกเก็บรวบรวมผ่านร้านซ่อมและระบบค้าของเก่า รวมทั้งการบริจาคให้กับวัดหรือมูลนิธิ ซึ่งท้ายที่สุดแล้วซาก E-waste ที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ก็มักจะถูกขายต่อไปให้กับกลุ่มถอดรื้อและคัดแยกเหล่านี้ ซึ่งจะแยกเอาเฉพาะชิ้นส่วนที่ขายได้ด้วยการถอดรื้อและเผาทำลาย แต่ไม่ได้มีการจัดการกับสารอันตรายหรือมลพิษที่เกิดจากกระบวนการคัดแยก ซึ่งนับเป็นปัญหาโดยรวมของประเทศไทยทั้งประเทศที่ต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาระบบการดำเนินงานที่มีความเหมาะสม ตลอดจนการนำเสนอรูปแบบการจัดการแบบใหม่เพื่อพิจารณาเป็นทางเลือกในการแก้ไขปัญหาโดยรวมของประเทศต่อไป

3.1.5 รูปแบบการจัดการในปัจจุบัน

สำหรับรูปแบบการจัดการในปัจจุบัน โดยภาพรวมของทั้งประเทศนั้น พบว่าสามารถนำเสนอวัฏจักรชีวิตของซาก E-waste ซึ่งได้มีการศึกษาและนำเสนอตั้งแต่ต้นน้ำของโซ่อุปทาน นั่นก็คือผู้ผลิตทั้งภายในและภายนอกประเทศมาจนถึงปลายน้ำที่เป็นการรีไซเคิลและกำจัดซาก E-waste ต่างๆ โดยหากทำการแบ่งลำดับขั้นของวัฏจักรชีวิตของซาก E-waste สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย

1) การเกิดเป็นของเสีย

ในขั้นนี้จะเริ่มตั้งแต่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งในและต่างประเทศ จนผลิตภัณฑ์นั้นเข้ามาสู่มือของลูกค้า

ซึ่งมีความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ต่างๆ จนเกิดเป็นของเสียจากการพังเสียหาย หรือหมดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ก่อให้เกิดเป็นซาก E-waste ขึ้นมา

2) การจัดการขั้นที่ 1

การจัดการในขั้นที่ 1 นี้ หลังจากเกิดเป็นซาก E-waste ขึ้นมาแล้ว จะมีบางส่วนที่ถูกกองทิ้งไว้ ณ แหล่งกำเนิด บางส่วนที่สามารถนำไปซ่อมแซมได้ก็จะถูกนำไปปรับปรุงและซ่อมแซมใหม่ นอกจากนี้ส่วนที่เหลือที่ถูกทิ้ง จะผ่านการเก็บรวบรวมสู่ขั้นตอนต่อไป เช่น เก็บรวบรวมโดยเทศบาล เก็บรวบรวมโดยตัวแทนจำหน่าย เป็นต้น หรือไม่ก็ถูกนำไปคัดแยกประเภทก่อนนำไปรีไซเคิลต่อไป และมีทางเลือกอีกอย่างหนึ่งในขั้นตอนนี้คือ การส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

3) การจัดการขั้นที่ 2

สำหรับขั้นนี้ถือเป็นขั้นสุดท้ายของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นการนำเอาซาก E-waste ไปจัดการด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การฝังกลบ การนำไปบำบัด ตลอดจนการนำไปเข้าสู่กระบวนการของโรงงานคัดแยกและรีไซเคิล หรือ โรงงานกำจัดของเสีย ซึ่งถือว่าเป็นขั้นสุดท้ายของวัฏจักรชีวิตซาก E-waste ดังกล่าว

โดยการจัดการในปัจจุบันนั้น หากพิจารณาลงไปเฉพาะสภาพปัจจุบันของการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์พบว่า ชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ที่ถูกนำไปรีไซเคิล ยังไม่สามารถนำวัสดุมีค่า ได้แก่ ทอง เงิน ทองแดง ดีบุก ตะกั่ว อลูมิเนียม เหล็ก และพลาสติก เป็นต้น กลับมาใช้หรือขายให้กับตลาดวัสดุรีไซเคิลได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้เนื่องจากระดับเทคโนโลยีมีศักยภาพต่ำและกระบวนการรีไซเคิลที่ไม่เหมาะสม ทำให้ได้วัสดุออกมาในปริมาณน้อย โดยพบว่า หากใช้เทคโนโลยีมีศักยภาพต่ำและกระบวนการของการรีไซเคิลที่ไม่เหมาะสมมาใช้ จะสูญเสียวัสดุมีค่า ได้แก่ ทอง และเงิน ไปเฉลี่ยประมาณ 0.00036 และ 0.0014 กิโลกรัมต่อเครื่อง ตามลำดับ (10)

นอกจากนี้การรีไซเคิลโดยส่วนใหญ่ยังไม่ครบวงจร เพราะยังไม่นิยมนำเอาจอคอมพิวเตอร์ไปทำการรีไซเคิล และจอคอมพิวเตอร์จำนวนมากจะถูกกองทิ้งไว้และไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากยังขาดระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่จอ

คอมพิวเตอร์แบบ CRT (Cathode Ray Tube) หนึ่งเครื่องจะประกอบไปด้วยวัสดุต่างๆ ได้แก่ พลาสติก 2.481 กิโลกรัม เหล็ก 3.322 กิโลกรัม อลูมิเนียม 0.242 กิโลกรัม ทองแดง 0.952 กิโลกรัม ตะกั่ว 0.464 กิโลกรัม ดีบุก 0.02 กิโลกรัม เงิน 0.00125 กิโลกรัม และทอง 0.00031 กิโลกรัม เป็นต้น และจอคอมพิวเตอร์แบบ LCD (Liquid Crystal Display) หนึ่งเครื่องจะประกอบไปด้วยวัสดุต่างๆ ได้แก่ พลาสติก 1.78 กิโลกรัม เหล็ก 2.53 กิโลกรัม อลูมิเนียม 0.13 กิโลกรัม ตะกั่ว 0.016 กิโลกรัม และดีบุก 0.024 กิโลกรัม เป็นต้น (10) ซึ่งปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดที่จะรีไซเคิลออกมาได้ก็ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของระดับศักยภาพในการรีไซเคิล (11) ของวัสดุแต่ละชนิด

จะเห็นได้ว่าหากมีการสร้างระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อนำมาผ่านกระบวนการของการรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูง ก็จะสามารถนำเอาวัสดุกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จำนวนมาก จึงควรได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีระบบและกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นในอนาคตข้างหน้าต่อไป

3.2 กลยุทธ์และวิธีการแก้ไขปัญห

สำหรับกลยุทธ์และวิธีการในการแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน สรุปได้ดังนี้

3.2.1 การแก้ไขพฤติกรรมของผู้บริโภค

สำหรับกลยุทธ์หนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นวิธีการแก้ปัญหาคือการจัดการกับซาก E-waste ของประเทศไทย ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายนั้น คือ หลัก 3Rs ที่ประกอบไปด้วย การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) โดยกลยุทธ์นี้ก็สามารถแก้ไขปัญหาคือการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้แค่เพียงบางส่วนเท่านั้น

3.2.2 การผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

กลยุทธ์ในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับผู้ผลิตโดยตรง ที่ควรพิจารณาถึงการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนช่วยในการลดปัญหามลภาวะทางอากาศ ทางน้ำ และทางดิน นอกจากนี้ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนช่วยประหยัดพลังงานและมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ยังสามารถนำชิ้นส่วน

ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้งเมื่อหมดอายุการใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันก็มีผู้ผลิตบางกลุ่มเท่านั้นที่ให้ความสำคัญในประเด็นนี้

3.2.3 การแก้ไขปัญหาของร้านรับซื้อของเก่า

ในส่วนนี้กรมควบคุมมลพิษได้ดำเนินโครงการร้านรับซื้อของเก่าสีเขียว (Green junk shop) ขึ้นมาเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนร้านรับซื้อของเก่าให้มีระบบการจัดการร้านที่ดี ไม่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนข้างเคียง โดยใช้รูปแบบการดำเนินโครงการที่มุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ทั้งจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของภาครัฐในส่วนกลางและท้องถิ่น รวมทั้งผู้ประกอบการที่เป็นภาคเอกชน โดยการดำเนินงานที่ผ่านมาในปีงบประมาณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 – 2554 มีร้านรับซื้อของเก่า จำนวน 1,154 แห่ง เข้าร่วมโครงการเพื่อรับคำแนะนำในการปรับปรุงร้านเป็นร้านรับซื้อของเก่าสีเขียว ซึ่งนับว่ายังเป็นเพียงส่วนน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนร้านรับซื้อของเก่าที่ได้รับคำแนะนำในการปรับปรุงร้านเป็นร้านรับซื้อของเก่าสีเขียวไปแล้ว กับจำนวนร้านรับซื้อของเก่าทั่วประเทศที่มีถึง 10,200 แห่ง จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษปี พ.ศ. 2551

3.2.4 การจัดการซาก E-waste ของภาครัฐ

สำหรับกลยุทธ์ด้านการสร้างระบบการจัดการซาก E-waste ของประเทศไทยที่ดำเนินการ

โดยหน่วยงานภาครัฐ ตามยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ (2) ซึ่งได้มีการดำเนินการโครงการศึกษาดำเนินทุนการจัดการซาก E-waste เพื่อใช้กำหนดค่าธรรมเนียม รวมทั้งกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการจัดระบบรวบรวมหรือรับคืนผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาใช้ประกอบการพัฒนากระบวนการหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอันตรายต่อไป โดยได้วิเคราะห์ซากผลิตภัณฑ์ 10 ประเภท ได้แก่ 1. โทรทัศน์ชนิดหลอดภาพ CRT และหลอดภาพ LCD/Plasma 2. กล้องถ่ายภาพและวิดีโอ 3. อุปกรณ์เล่นภาพและเสียงขนาดพกพา 4. เครื่องพิมพ์และโทรสาร 5. โทรศัพท์ 6. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 7. เครื่องปรับอากาศ 8. ตู้เย็น 9. หลอดฟลูออเรสเซนต์ และ 10. แบตเตอรี่แห้ง โดยได้ศึกษาแนวทางในการรับคืนซากจากแหล่งกำเนิดผ่านช่องทางของศูนย์รับคืนซากซึ่งอาศัยองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศเป็นสถานที่ตั้ง ภายใต้การดำเนินงานของภาครัฐ เพื่อนำซากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปทำการรีไซเคิลยังโรงงานรีไซเคิลที่ขึ้นทะเบียนถูกต้อง นอกจากนี้ก็ยังได้ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนต่างๆ ในกระบวนการจัดการซาก E-waste ของประเทศไทย ซึ่งโดยรวมแล้วก็เป็นแนวทางของระบบการแก้ไขปัญหาของซาก E-waste หลายชนิดรวมกัน

จากประเด็นปัญหาและแนวทางการแก้ไขในปัจจุบันนั้น สามารถสรุปประเด็นเพื่อการปรับปรุงและออกแบบระบบใหม่ได้ตามรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. สรุปประเด็นเพื่อการปรับปรุงและออกแบบระบบใหม่ในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

ประเด็นปัญหา	ลักษณะปัญหา	กลยุทธ์/วิธีแก้ไขในปัจจุบัน	แนวทางการแก้ไขในอนาคต
ปัญหาการจัดการของผู้บริโภค	ผู้บริโภคส่วนมากขาดการให้ความสำคัญในการรวบรวมและนำซากคอมพิวเตอร์กลับมาเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลเพื่อนำวัสดุที่รีไซเคิลได้กลับมาใช้ใหม่	การนำหลัก 3Rs ได้แก่ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) มาใช้ในการแก้ไขพฤติกรรมจัดการซากคอมพิวเตอร์ แต่ยังขาดความร่วมมือจากผู้บริโภค	การสร้างกลไกเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จากผู้บริโภค ด้วยการจัดตั้งจุดเรียกคืนซากที่ใกล้ชิดกับผู้บริโภคเพื่อกระตุ้นให้เกิดการนำซากเข้าสู่กระบวนการของการรีไซเคิลผ่านกลยุทธ์ต่างๆ
ปัญหาการจัดการของร้านรับซื้อของเก่า	ปัจจุบันมีร้านรับซื้อของเก่าจำนวนมากที่ประกอบกิจการไม่เหมาะสม ทั้งการเก็บรวบรวม การคัดแยก และการแปรสภาพ ซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	การดำเนินโครงการร้านรับซื้อของเก่าสีเขียว เพื่อส่งเสริมร้านรับซื้อของเก่าให้มีระบบการจัดการร้านที่ดี แต่ยังคงมีร้านรับซื้อของเก่าเข้าร่วมน้อยมาก และยังคงมีการลักลอบจัดการซากที่ไม่เหมาะสม	อาจจะต้องมีการดำเนินการรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ผ่านช่องทางอื่น ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่ง หรือการนำส่งซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่โรงงานรีไซเคิลที่ขึ้นทะเบียนถูกต้อง ป้องกันการจัดการที่มีความเสี่ยง ร้านรับซื้อของเก่า
ปัญหาคำแนะนำงานของผู้ประกอบการรีไซเคิล	ภาพรวมการรีไซเคิลในปัจจุบันนั้น ยังคงขาดกระบวนการรีไซเคิลที่เต็มรูปแบบครบทุกชิ้นส่วน จึงทำให้เกิดการสูญเสียวัสดุมีค่าจากการไม่รีไซเคิลบางชิ้นส่วนของซากคอมพิวเตอร์ หรือการรีไซเคิลที่ยังคงขาดประสิทธิภาพ	มีการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ในการรีไซเคิลชิ้นส่วนเพิ่มมากขึ้น มีผู้ประกอบการใหม่หันมาประกอบธุรกิจด้านการรีไซเคิลเพิ่มมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพอาจไม่สูงมากนักเนื่องจากยังคงนิยมรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์หลายชนิดรวมกัน	ควรพิจารณาเพื่อจัดตั้งโรงงานต้นแบบ สำหรับการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ที่ถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการรีไซเคิลที่ไม่มีความเหมาะสม และการรีไซเคิลที่ไม่สามารถดึงวัสดุมีค่ากลับมาได้ทั้งหมด โดยพิจารณาเฉพาะซากคอมพิวเตอร์อย่างเดียวเป็นหลัก
ภาพรวมปัญหาเชิงระบบ	ปัจจุบันยังขาดระบบในการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ และขาดการนำมารีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถรีไซเคิลได้ทุกชิ้นส่วนอย่างครบวงจร ประกอบกับการบริหารจัดการที่มีศักยภาพสำหรับระบบการจัดการโดยรวมทั่วประเทศ	มีการดำเนินการด้านกลยุทธ์ในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นหนึ่งใน E-waste โดยยุทธศาสตร์ของทางภาครัฐ แต่ยังคงพิจารณาการจัดการรวมกับซากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น และอาศัยผู้ประกอบการรีไซเคิลที่มีอยู่เดิมในการรีไซเคิล และอาศัยหน่วยงานของรัฐมาเป็นส่วนสำคัญหลักในการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์	ควรพิจารณาช่องทางการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ทั้งภาครัฐและเอกชนเพื่อตอบสนองต่อผู้บริโภคให้ได้มากที่สุด ภายใต้การวิเคราะห์กลไกในการเรียกคืน และควรพิจารณาถึงโรงงานสำหรับการรีไซเคิลต้นแบบเฉพาะทางในการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ให้ได้มูลค่าเพิ่มจากซากคอมพิวเตอร์มากขึ้นจากระบบในปัจจุบัน

3.3 รูปแบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ

สำหรับระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งเป็นกระบวนการสำหรับการนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้แล้ว หรือซาก E-waste กลับคืนมา เพื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในการใช้ประโยชน์จากซาก E-waste ดังกล่าว ทำให้การออกแบบระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นหนึ่งใน E-waste จึงจำเป็นต้องออกแบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดองค์ประกอบของระบบและหน้าที่ของแต่ละจุดในระบบที่ออกแบบขึ้นมา โดยสิ่งจำเป็นที่จะศึกษาเพื่อสนับสนุนในการออกแบบคือ การศึกษาและทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยต่างๆที่มีความสอดคล้องกับปัญหานี้ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นการนำเสนอภาพรวมของการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ชนิดของซากผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ

โดยข้อมูลในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดองค์ประกอบของระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์แบบย้อนกลับจะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของปัญหา ชนิดของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนระดับของความรับผิดชอบในการจัดการซากผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคของแต่ละแห่ง โดยพบว่ามีหลายงานวิจัยที่กำหนดให้มีจุดเก็บกลับหรือศูนย์เก็บกลับเพื่อรับคืนซากจากแหล่งกำเนิดและนำผ่านศูนย์รวบรวมเพื่อนำไปจัดการในกระบวนการถัดไป ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการขับเคลื่อนให้เกิดการนำส่งซากผลิตภัณฑ์เข้าสู่ระบบการจัดการ โดยจากการศึกษาในเบื้องต้นประเทศไทยก็ยังคงมีปัญหาด้านความรับผิดชอบในการนำส่งซากผลิตภัณฑ์เข้าสู่ระบบ ดังนั้นองค์ประกอบของจุดเก็บกลับหรือศูนย์เก็บกลับจึงถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4. ตัวอย่างการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการจัดการซากผลิตภัณฑ์

ผู้วิจัย	ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา	องค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ																	
		Consumer/ Waste Source	Collection Point	Collection/ Intermediate Center	Return Center	Distributor	Storage Site	Disassembly Center	Reuse Facility	Repair & Refurbishing Center	Remanufacturing Center	Processing Center	Recycling/ Potential Plant	Treatment Center/ Disposal Facility	Manufacturer/ Producer	Supplier	Primary Market	Second's Market	Material Market
Fleischman et al., 1997 (12)	- (model)	/		/		/						/		/	/				
Lee et al., 2000 (13)	Computers	/	/				/					/							
Shih, 2001 (14)	Home appliances & Computers		/				/	/				/	/						/
Hu et al., 2002 (5)	Hazardous waste	/		/		/	/		/				/						
Min et al., 2006 (15)	Return product	/	/		/														
Lu & Bostel, 2007 (16)	Return product	/		/						/				/					
Wang & Yang, 2007 (17)	E-waste		/				/					/		/					

ตารางที่ 4. ตัวอย่างการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการจัดการซากผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ผู้วิจัย	ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา	องค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ																	
		Consumer/ Waste Source	Collection Point	Collection/ Intermediate Center	Return Center	Distributor	Storage Site	Disassembly Center	Reuse Facility	Repair & Refurbishing Center	Remanufacturing Center	Processing Center	Recycling/ Potential Plant	Treatment Center/ Disposal Facility	Manufacturer/ Producer	Supplier	Primary Market	Second's Market	Material Market
Ahluwalia & Newa, 2007 (18)	Computer waste	/						/			/		/						
Lee & Dong, 2008 (19)	Computers	/									/			/					
Srivastava, 2008 (20)	E-waste	/		/					/	/							/	/	
Lee et al., 2009 (21)	Multi-product (model)	/			/			/			/	/	/	/					
Rivera & Ertal, 2009 (6)	End of-Life Vehicles	/		/															
Kara & Onut, 2010 (22)	Paper	/		/								/							

สำหรับองค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในอนาคตนั้น จะมีแหล่งของซากคอมพิวเตอร์เป็นองค์ประกอบแรก และพิจารณาจุดเก็บกลับและศูนย์เก็บกลับเข้ามาเป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบ โดยใช้ชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าจุดเรียกคืน และศูนย์เรียกคืนเพื่อให้สอดคล้องกับระบบที่จะทำการออกแบบเพื่อเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังกำหนดให้มีศูนย์รวบรวมเพื่อส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลก่อนเข้าสู่องค์ประกอบสุดท้ายคือตลาดวัสดุ ดังนั้นสามารถสรุปองค์ประกอบทั้งหมดได้ 6 องค์ประกอบหลัก ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5 อันได้แก่ 1. แหล่งของซาก (Source of scraps) 2. จุดเรียกคืน (Callback point) 3. ศูนย์เรียกคืน (Callback center) 4. ศูนย์รวบรวม (Collection center)

5. โรงงานรีไซเคิล (Recycling plant) และ 6. ตลาดวัสดุ (Material market) ทั้งนี้ในระบบการเรียกคืนนั้น จุดเรียกคืนจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้เกิดการเข้าใกล้กับผู้บริโภคให้ได้มากที่สุดเพื่อกระตุ้นให้เกิดการนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบ โดยในแต่ละจังหวัดจะมีจุดนี้กระจายอยู่ในแต่ละพื้นที่เพื่อตอบสนองต่อผู้บริโภคในการส่งคืนดังกล่าว ส่วนการกำหนดศูนย์เรียกคืนนั้นก็เพื่อการควบคุมดูแลและเก็บรวบรวมซากจากจุดเรียกคืนเป็นหลักในมุมมองระดับจังหวัด โดยศูนย์เรียกคืนนี้มีอย่างน้อยจังหวัดละหนึ่งศูนย์ ซึ่งการกำหนดให้มีสองส่วนนี้ในองค์ประกอบของระบบก็เพื่อใช้เป็นส่วนขับเคลื่อนให้เกิดกลไกของการเรียกคืนที่เป็นระบบและมีแนวโน้มว่าสามารถนำมาปรับใช้และสามารถแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสมได้

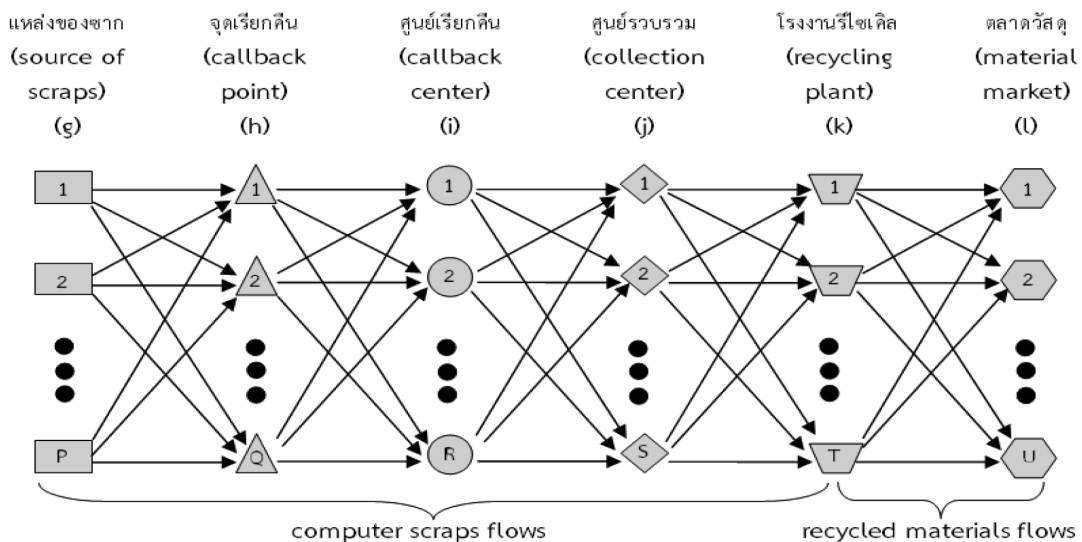
ตารางที่ 5. องค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับในระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

องค์ประกอบ	รายละเอียด	เป้าหมายการออกแบบ
แหล่งของซาก (Source of scraps) (node g)	เป็นแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ ณ จุดกำเนิด ทั้งคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา โดยการพิจารณาทั้งคอมพิวเตอร์ในระดับครัวเรือน และในสถานประกอบการ ทุกจังหวัดทั่วประเทศ	เพื่อกำหนดเป็นจุดต้นทางหรือจุดตั้งต้นในระบบ ซึ่งเป็นซากคอมพิวเตอร์ที่จะถูกนำเข้าสู่ระบบของการเรียกคืน
จุดเรียกคืน (Callback point) (node h)	เป็นจุดสำหรับการเรียกคืนหรือรับคืนซากคอมพิวเตอร์ในขั้นต้นจากแหล่งของซากหรือผู้บริโภค ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของร้านค้า หรือตัวแทนรับคืนซากอื่นๆ	เพื่อกำหนดเป็นจุดสำหรับเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ภายใต้กลไกการขับเคลื่อน เพื่อกำหนดในผู้บริโภคนำซากกลับคืนเข้าสู่ระบบต่อไป
ศูนย์เรียกคืน (Callback center) (node i)	เป็นศูนย์เพื่อรวบรวมในระดับจังหวัด จากจุดเรียกคืนรายย่อยภายในจังหวัดนั้นๆ โดยซากคอมพิวเตอร์ที่รวบรวมมาจะยังไม่มี การดำเนินการใดๆกับชิ้นส่วนต่างๆทั้งสิ้น	เพื่อเป็นการควบคุมดูแลและเก็บรวบรวมซากจากจุดเรียกคืน ซึ่งถือเป็นศูนย์กลางของการบริหารจัดการระดับจังหวัด และช่วยแก้ไขปัญหาการคัดแยกและการถอดรื้อซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม
ศูนย์รวบรวม (Collection center) (node j)	เป็นศูนย์สำหรับรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากจังหวัดต่างๆก่อนส่งไปรีไซเคิล ภายในศูนย์รวมนี้นี้จะมีกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบ การแยกประเภท การจัดเก็บ และการบรรจุเพื่อการขนส่งที่สะดวก	เพื่อกำหนดเป็นศูนย์รวบรวมในระดับภูมิภาค โดยการรวบรวมซากคอมพิวเตอร์มาจัดการในเบื้องต้น และนำมาเก็บรวบรวมไว้ในปริมาณที่มากเพียงพอก่อนทำการขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิล
โรงงานรีไซเคิล (Recycling plant) (node k)	เป็นโรงงานสำหรับรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ต้นแบบ ที่รีไซเคิลเฉพาะชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว ด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถรีไซเคิลได้ทุกชิ้นส่วน และภายในโรงงานก็ได้รับระบบการบำบัด และกำจัดสารพิษไว้ด้วย	เพื่อกำหนดเป็นโรงงานต้นแบบ สำหรับการรีไซเคิลของซากคอมพิวเตอร์ที่ถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบ และช่วยลดปัญหาการรีไซเคิลที่ไม่มีความเหมาะสม ประกอบกับการรีไซเคิลที่ไม่สามารถดึงวัสดุมีค่ากลับมาได้ทั้งหมด
ตลาดวัสดุ (Material market) (node l)	เป็นแหล่งของตลาดที่มีความต้องการวัสดุชนิดต่างๆในการผลิตเป็นชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ	เพื่อกำหนดเป็นแหล่งรองรับชิ้นส่วนวัสดุรีไซเคิล ซึ่งจะต้องทำการสำรวจที่ตั้งและปริมาณความต้องการ นอกจากนี้ จุดนี้ยังเป็นการเชื่อมโยงระหว่างโลจิสติกส์แบบย้อนกลับและแบบไปหน้าเข้าด้วยกัน

สำหรับองค์ประกอบของระบบโครงข่ายของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ทั้ง 6 องค์ประกอบ ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีกระบวนการไหลย้อนกลับที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ การไหลของซากคอมพิวเตอร์ (Computer scraps flows) และการไหลของวัสดุรีไซเคิล (Recycled materials flows) สำหรับการไหลของซากคอมพิวเตอร์ จะเริ่มต้นจากแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นซากคอมพิวเตอร์จากครัวเรือนและสถานประกอบการต่างๆ ทั่วประเทศ โดยนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบขั้นแรกผ่านจุดเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งจัดตั้งอยู่ในรูปแบบของร้านค้าหรือตัวแทนรับคืนซาก และในส่วนถัดมาซากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งไปยังศูนย์เรียกคืนในระดับจังหวัด โดยกำหนดให้ศูนย์เรียกคืนนี้ควรจะต้องจัดตั้งไว้อย่างน้อย จังหวัดละหนึ่งศูนย์ เพื่อควบคุมและดูแลจุดเรียกคืนในแต่ละจังหวัดดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งการรวบรวมซากคอมพิวเตอร์มาถึงจุดนี้จะไม่มีการถอดแยกชิ้นส่วนใด แต่เป็นการเก็บรวบรวมไว้เท่านั้น หลังจากนั้นจึงขนส่งซากที่เรียกคืนได้ไปสู่ศูนย์รวบรวม ซึ่งจะรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากจังหวัดต่างๆมารวมกันเพื่อทำการแยกประเภทชิ้นส่วนหลัก และทำการบรรจุในบรรจุภัณฑ์

เพื่อเก็บรวบรวมไว้ภายในศูนย์ดังกล่าว หลังจากนั้นจึงจะจัดส่งซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่โรงงานรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นโรงงานต้นแบบที่มีเทคโนโลยีในการรีไซเคิลและการบำบัดสารพิษในระดับสูง เพื่อการรีไซเคิลให้ได้วัสดุชนิดต่างๆออกมา หลังจากนั้นจึงเข้าสู่องค์ประกอบสุดท้ายของระบบ คือ ตลาดวัสดุ (กลุ่มโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งเป็นตลาดรองรับวัสดุในการนำวัสดุที่รีไซเคิลได้กลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอีกครั้งหนึ่ง

โดยระบบโครงข่ายที่นำเสนอนี้เป็นระบบใหม่ที่น่าสนใจเพื่อใช้เป็นแนวทางอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการและแก้ไขปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันและในอนาคต ที่มีการคาดการณ์ว่าปริมาณซากคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นหนึ่งของซาก E-waste จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นการประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อการออกแบบและวางแผนสำหรับสร้างแนวทางการจัดการกับซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยในงานวิจัยนี้ จึงเป็นสิ่งที่ควรนำไปปรับใช้เพื่อแก้ไขปัญหาในอนาคตต่อไป



รูปที่ 1. ระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์

3.4 กลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

สำหรับการสร้างและพัฒนากลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมและเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งซาก หรือปัญหาการถอดแยกและการรีไซเคิลที่ยังคงขาดประสิทธิภาพ เป็นต้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การวางระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

การวางระบบในส่วนนี้ เป็นกระบวนการสำคัญในการนำระบบการเรียกคืนที่ได้ออกแบบและวิเคราะห์ขั้นมาไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้จริงในอนาคต (Implementation) โดยระบบการเรียกคืนซาก

คอมพิวเตอร์ตามองค์ประกอบของระบบโครงข่ายตามรูปที่ 1 นั้น ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหรือมีหน้าที่หลักในการดำเนินการนั้น สามารถพิจารณาได้ด้วยแนวทาง 3 แนวทาง คือ 1. การดำเนินงานโดยหน่วยงานภาครัฐ 2. การดำเนินงานโดยหน่วยงานภาคเอกชน และ 3. การร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชน ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงความพร้อมและความเหมาะสมถึงบทบาทหน้าที่ในการขับเคลื่อนระบบของแต่ละฝ่ายต่อไปเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดกับการดำเนินการและการปรับใช้ในสังคมไทย โดยการวิเคราะห์การวางระบบนั้น สามารถสรุปองค์ประกอบของการวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ได้ตามรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6. การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

องค์ประกอบของระบบ	ผู้รับผิดชอบ/เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	ระเบียบ/หลักเกณฑ์/เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา
แหล่งของซาก (Source of scraps)	ผู้บริโภค (ประชาชนทั่วไป และผู้ประกอบการ)	ส่งคืนซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่ใช้แล้วเข้าสู่ระบบเรียกคืนซาก	ผู้บริโภคต้องปฏิบัติตามหลัก 3Rs ในการนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล โดยการพิจารณาขายให้กับผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาต
	ผู้ผลิต (ผู้ประกอบการที่ผลิตคอมพิวเตอร์จำหน่าย)	รับผิดชอบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จากลูกค้าเข้าสู่ระบบเรียกคืนซาก	- ผู้ผลิตต้องยึดหลัก EPR ในการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์และระบบของผลิตภัณฑ์ - ผู้ผลิตต้องใช้ชิ้นส่วนตามมาตรฐาน RoHS ในการผลิตคอมพิวเตอร์ - ผู้ผลิตต้องยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืน การรีไซเคิล และการกำจัดซากคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 6. การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

องค์ประกอบ ของระบบ	ผู้รับผิดชอบ/เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	ระเบียบ/หลักเกณฑ์/ เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา
จุดเรียกคืน (Callback point)	หน่วยงานภาครัฐ (อปต. เทศบาล ที่ว่าการอำเภอ โรงเรียนมหาวิทยาลัยเป็นต้น หรือ จุดเรียกคืนเปิดใหม่)	- รับคืนซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบ - บริหารจัดการภายในจุดเรียกคืน - สร้างกลยุทธ์ในการจูงใจให้เกิดการคืนซาก - นำส่งซากเข้าสู่ศูนย์เรียกคืน	- สร้างกลยุทธ์ในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ - ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืนซากคอมพิวเตอร์ - ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน
	หน่วยงานภาคเอกชน (ร้านค้า ห้างสรรพสินค้า ตัวแทน จำหน่าย เป็นต้น หรือจุดเรียกคืน เปิดใหม่)		
	หน่วยงานความร่วมมือ (หน่วยงานภาครัฐร่วมมือกับ เอกชน)		
ศูนย์เรียกคืน (Callback center)	หน่วยงานภาครัฐ (อบจ. ศาลากลางจังหวัด โรงเรียน มหาวิทยาลัย เป็นต้น หรือศูนย์ เปิดใหม่)	- รวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากจุดเรียกคืนรายย่อย - ควบคุมดูแลจุดเรียกคืน - บริหารจัดการภายในศูนย์เรียกคืน - สร้างกลยุทธ์ร่วมกับจุดเรียกคืนในการจูงใจให้เกิดการคืนซาก - นำส่งซากเข้าสู่ศูนย์รวบรวม	- สร้างกลยุทธ์ในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ - ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืนซากผลิตภัณฑ์ - ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน
	หน่วยงานภาคเอกชน (ห้างสรรพสินค้า ตัวแทนจำหน่าย ศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น หรือ ศูนย์เปิดใหม่)		
	หน่วยงานความร่วมมือ (หน่วยงานภาครัฐร่วมมือกับเอกชน)		
ศูนย์รวบรวม (Collection center)	หน่วยงานภาครัฐ (ศูนย์เปิดใหม่)	- เก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์เรียกคืนแต่ละจังหวัด - บริหารจัดการภายในศูนย์รวบรวม - นำส่งซากเข้าสู่โรงงานรีไซเคิลต้นแบบ	- ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืนซากผลิตภัณฑ์ - ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน
	หน่วยงานภาคเอกชน (ศูนย์เปิดใหม่)		
	หน่วยงานความร่วมมือ (ศูนย์เปิดใหม่จากความร่วมมือของ รัฐและเอกชน)		
โรงงาน รีไซเคิล (Recycling plant)	หน่วยงานภาครัฐ (โรงงานเปิดใหม่)	- รับเอาซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์รวบรวมเข้ามารีไซเคิล - บำบัดและกำจัดสารพิษจากกระบวนการรีไซเคิล - บริหารจัดการภายในโรงงาน - ขยายผลจากการรีไซเคิลให้กับตลาดรองรับวัสดุ	- ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรีไซเคิลและการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ - ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน
	หน่วยงานภาคเอกชน (โรงงานเปิดใหม่)		
	หน่วยงานความร่วมมือ (โรงงานเปิดใหม่จากความร่วมมือ ของภาครัฐและเอกชน)		

ตารางที่ 6. การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

องค์ประกอบของระบบ	ผู้รับผิดชอบ/เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	ระเบียบ/หลักเกณฑ์/เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา
ตลาดวัสดุ (Material market)	ผู้ผลิตในประเทศ (ผู้ประกอบการที่ผลิตคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ และ อิเล็กทรอนิกส์)	รองรับปริมาณวัสดุจากการ รีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ด้วย การรับซื้อมาเป็นวัตถุดิบใน การผลิต	- ผู้ผลิตต้องยึดหลัก EPR ใน การปรับปรุงการออกแบบ ผลิตภัณฑ์และระบบของ ผลิตภัณฑ์
	ผู้ผลิตนอกประเทศ (ผู้ประกอบการที่ผลิตคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ และ อิเล็กทรอนิกส์)	รองรับปริมาณวัสดุจากการ รีไซเคิลคอมพิวเตอร์ที่ ประเทศไทยส่งออกไปจำหน่าย (ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการ ศึกษาครั้งนี้)	- ผู้ผลิตต้องใช้ชิ้นส่วนตาม มาตรฐาน RoHS ในการผลิต คอมพิวเตอร์ - พิจารณาหลักการ 3Rs ใน การผลิตชิ้นส่วนของ คอมพิวเตอร์ หรือเครื่อง คอมพิวเตอร์ ตลอดจน ชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ

หมายเหตุ: EPR คือ Extended Producer Responsibility / WEEE คือ Waste Electrical and Electric Equipment

RoHS คือ Restriction of certain Hazardous Substance/ 3Rs คือ Reduce Reuse and Recycle

3.4.2 การดำเนินการเรียกคืน

ในส่วนนี้เป็นลักษณะของการดำเนินงานที่สำคัญที่จะเกิดขึ้นหลังจากการสร้างและการวิเคราะห์กลไกในส่วนก่อนหน้าเสร็จสิ้น โดยประกอบไปด้วยกิจกรรมหลัก 3 กิจกรรม ดังนี้

1) การเตรียมความพร้อมขององค์กร

เป็นการเตรียมความพร้อมในการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ด้วยการสร้างความเข้าใจในระบบเรียกคืนให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทราบโดยทั่วกัน การจัดตั้งคณะทำงานจากบุคลากรของภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อควบคุมดูแลและกำหนดกลยุทธ์ต่างๆ ในการขับเคลื่อนให้ระบบการเรียกคืนซากบรรลุเป้าหมายที่วางเอาไว้ ตลอดจนการกำหนดบทบาทหน้าที่ที่ชัดเจนของคณะทำงาน การจัดประชุมและอบรมให้แก่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังต้องอบรมและให้ความรู้ในแง่กฎหมายและกฎระเบียบต่างๆ ของโครงการ เพื่อให้โครงการดำเนินไปด้วยความราบรื่นภายใต้บุคลากรที่มีความรู้และความเข้าใจ

2) การประชาสัมพันธ์และการเผยแพร่

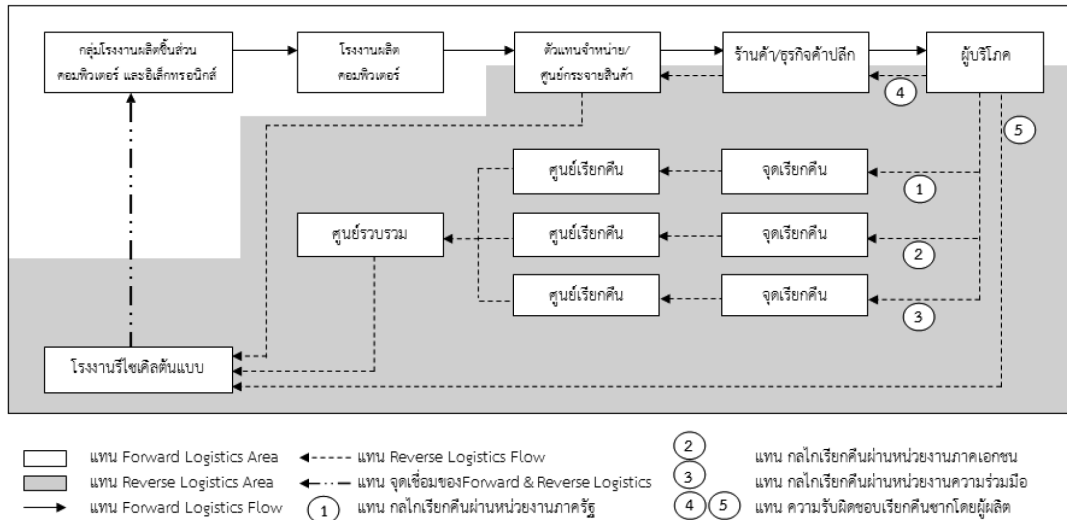
ในส่วนนี้เป็นการประชาสัมพันธ์และการเผยแพร่โดยการประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภคได้รับทราบ มุ่งเน้นให้ผู้บริโภครับทราบและให้ความร่วมมือในการนำซากคอมพิวเตอร์กลับคืนเข้าสู่ระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ เพื่อสะท้อนให้ผู้บริโภคเล็งเห็นถึงความสำคัญ และผลประโยชน์ของการนำซากคอมพิวเตอร์มาผ่านกระบวนการรีไซเคิลและการกำจัดสารพิษที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันและยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการรีไซเคิลเพื่อนำวัสดุที่ได้ไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไป

3) การดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

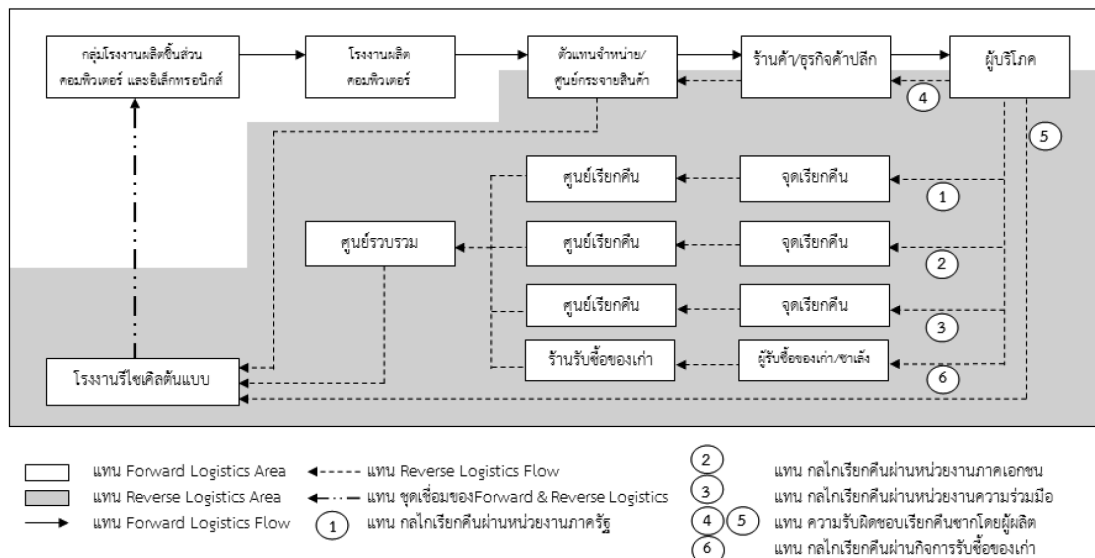
เป็นการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จริงตามแผนงานที่วางไว้ภายใต้กรอบระยะเวลา พื้นที่ และเป้าหมายการเก็บรวบรวมซากที่กำหนด เพื่อการจัดการกับปัญหาซากคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้การดำเนินการจะต้องอาศัยระบบในการติดตามการดำเนินงาน เพื่อการบริหารจัดการและการประเมินผลที่

มีความเหมาะสม โดยการดำเนินการของระบบเรียกคืนนั้น สามารถนำเสนอรูปแบบของการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งได้แสดงเส้นทางและรูปแบบของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ผ่านช่องทางต่างๆ ที่เป็นไปได้ ซึ่งแสดงใน 2 ส่วน คือ ระบบโลจิสติกส์ของ

การผลิตคอมพิวเตอร์และระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถนำเสนอแนวทางอีกแนวทางหนึ่งดังรูปที่ 3 โดยจะพิจารณาผู้รับซื้อของเก่าและร้านรับซื้อของเก่าเข้ามาในระบบด้วย หากในอนาคตมีความพร้อมจะเข้าร่วมในระบบดังกล่าว



รูปที่ 2. รูปแบบกลไกการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3. รูปแบบกลไกการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (กรณีกิจการรับซื้อของเก่าเข้าร่วมระบบ)

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเพื่อออกแบบระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยนั้น ในส่วนของสภาพปัญหาและการจัดการในปัจจุบันยังคงมีประเด็นปัญหาของความไม่เหมาะสมของรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์อยู่ ซึ่งได้ส่งผลกระทบหลายด้านต่อการดำเนินงานโดยรวมของระบบ ซึ่งก่อนการออกแบบและสร้างแนวทางในการแก้ไขปัญหารูปแบบใหม่ จำเป็นต้องศึกษาผลกระทบและวิธีการต่างๆ ที่ได้นำมาใช้และแก้ไขปัญหาในปัจจุบัน เพื่อจะได้ทราบถึงช่องว่างหรือจุดอ่อนที่ยังคงเกิดขึ้นในระบบของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์หาแนวทางเพื่อการปรับปรุงวิธีการแก้ไขปัญหาต่อไป

สำหรับแนวทางการแก้ปัญหาที่จะนำไปสู่การออกแบบระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์นั้น พบว่าหลักการที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อการแก้ไขปัญหาคือการประยุกต์ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับมาเป็นแกนหลักในการออกแบบระบบ โดยได้ทำการออกแบบระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ 1. แหล่งของซาก 2. จุดเรียกคืน 3. ศูนย์เรียกคืน 4. ศูนย์รวบรวม 5. โรงงานรีไซเคิล และ 6. ตลาดวัสดุ เพื่อแสดงให้เห็นภาพขององค์ประกอบโดยรวมของระบบในการเรียกคืน และในส่วนท้ายคือการวิเคราะห์กลไกในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ในส่วนของการวางระบบกลไกการเรียกคืนนั้น ได้อธิบายถึงองค์ประกอบของระบบ ผู้รับผิดชอบ/ผู้เกี่ยวข้อง หน้าที่หลัก ตลอดจนระเบียบ/หลักเกณฑ์/เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา โดยจะนำเสนอออกมาเป็นความรับผิดชอบและหน้าที่ของหน่วยงานใน 3 ลักษณะ คือ หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน และความร่วมมือของทั้งสองหน่วยงาน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนั้นจะต้องดำเนินการภายใต้กรอบของหลัก 3Rs หลัก EPR ระเบียบ WEEE และระเบียบ RoHS และอีกส่วนหนึ่งคือ การเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมียุทธศาสตร์ของการดำเนินงานและรูปแบบกลไกการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดเพื่อนำเข้าสู่ระบบการจัดการที่เหมาะสม โดยได้เปรียบเทียบระหว่างช่องทางของระบบโลจิสติกส์ของ

การผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์กับระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์

ซึ่งระบบการเรียกคืนที่ออกแบบนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดการรูปแบบเดิมหรือรูปแบบการจัดการในปัจจุบัน พบว่ารูปแบบของระบบการเรียกคืนที่ออกแบบมีความเหมาะสมในการแก้ไขปัญหาที่ยังคงเกิดขึ้นในปัจจุบันของไทยและมีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต อีกทั้งระบบที่ออกแบบนี้ยังเป็นแนวทางที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบได้มากกว่ารูปแบบเดิม ช่วยให้ได้รับปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลมากกว่าเดิม เนื่องจากเทคโนโลยีในโรงงานรีไซเคิลต้นแบบเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ได้วัสดุมีค่าซึ่งมีมูลค่าสูง เช่น เงินและทอง ตลอดจนวัสดุชนิดอื่นเพื่อนำเข้าสู่อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการลดการนำเข้าวัสดุตั้งต้นจากต่างประเทศ ซึ่งปัจจุบันพบว่านำเข้าจากประเทศไต้หวัน เกาหลี จีน มาเลเซีย เยอรมัน สิงคโปร์ และญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างระบบโลจิสติกส์ไปหน้าของผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์และระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน ซึ่งสุดท้ายแล้วระบบการเรียกคืนที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยในอนาคตโดยรวมของทั้งประเทศได้ ซึ่งจะต้องถูกนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมและการนำแนวคิดนี้ไปปรับใช้ในอนาคตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา (สัญญาเลขที่ ภค./2554- ลท.01) ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ และคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณสำหรับทุกคำแนะนำในการปรับปรุงบทความฉบับนี้เพื่อความถูกต้องและสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Pollution Control Department, Thailand. E-waste Management Manual. 2008. 200 p. Thai.
- (2) Pollution Control Department, Thailand. WEEE Management Strategy. 1st ed. Thailand: Hez; 2008. 62 p. Thai.
- (3) Pollution Control Department, Thailand. A Study Project on Criteria and Fees of Thailand's WEEE Management. 2010. Thai.
- (4) Yindee K. Obsolete Personal Computers (PCs): The Feasibility End-of-Life Options for Thailand. [MSc thesis]. Mahidol: Mahidol University; 2004. Thai.
- (5) Hu T L, Sheu J B, Huang K H. A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Journal. Part E: Logistics and Transportation Review*. 2002;38: 457-473.
- (6) Cruz-Rivera R, Ertel J. Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico. *European J of Operational Research*. 2009;196: 930-939.
- (7) Dhanda K K, Peters A A. Reverse logistics in the computer industry. *International Journal of Computers, Systems and Signals*. 2005;6(2): 57-67.
- (8) Lee C H, Chang C T, Fan K S, Chang T C. An overview of recycling and treatment of scrap computers. *Journal of Hazardous Materials*. 2004;144: 93-100.
- (9) Pollution Control Department, Thailand. Green Junk Shop Project. [Internet] 2011 Dec 23. Available from: http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_greenantiqueshop.html
- (10) United State Environmental Protection Agency, The Office of Solid Waste. Management of Electronic Waste in United State: Approach Two. [Internet] 2012 Mar 8. Available from: <http://www.epa.gov/osw/conserva/materials/ecycling/app-2.pdf>.
- (11) United Nations Environmental Programme. E-waste Management Manual. Japan. 2007;2: 128 p.
- (12) Fleischmann M, Bloemhof-Ruwaard J M, Dekker R, van der Laan E, van Nunen J A E E, Van Wassenhove L N. Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*. 1997;103: 1-17.
- (13) Lee C H, Chang S L, Wang K M, Wen L C. Management of scrap computer recycling in Taiwan. *Journal of Hazardous Materials*. 2000;73: 209-220.
- (14) Shih L H. Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*. 2001;32: 55-72.
- (15) Min H, Jeung Ko H, Seong Ko C. A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*. 2006;34: 56-69.
- (16) Lu Z, Bostel N. A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities. *Computers & Operations Research*. 2007;34: 299-323.
- (17) Wang I L, Yang W C. Fast Heuristics for Designing Integrated E-Waste Reverse Logistics Networks. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*. 2007;30: 147-154.
- (18) Ahluwalia P K, Nema A K. A life cycle based multi-objective optimization model for the management of computer waste. *Resources, Conservation and Recycling*. 2007;51: 792-826.
- (19) Lee D H, Dong M. A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. *Transportation Research*

Journal Part E: Logistics and Transportation Review. 2008;44: 455-474.

- (20) Srivastava S K. Network design for reverse logistics. Omega. 2008;36: 535-548.
- (21) Lee J E, Gen M, Rhee K G. Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm. Computers & Industrial Engineering. 2009; 56: 951-964.
- (22) Kara S S, Onut S. A stochastic optimization approach for paper recycling reverse logistics network design under uncertainty. Int. J. Envir. Sci. Tech. 2010;7: 717-730.