



การศึกษาระบบการขนส่งในโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะคอมพิวเตอร์ ในจังหวัดสงขลา

A Study of Transportation System in Reverse Logistics for Computer Wastes in Songkhla

เสกสรร สุธรรมมานนท์*, นิกอร์ ศิริวงศ์ไพศาล¹, ลัคณ์ศิริ ตรีนานุรัตน์¹, สราวุฒิ คงขวัญ¹ และ ศศิโสภา ชีวะเสรีชล¹
Sakesun Suthummanon¹, Nikorn Sirivongpaisal¹, Lucksiri Treranuwat¹, Sarawut Kongkang¹
and Sasisopa Shewasarechon¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางในการลดต้นทุนการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในพื้นที่จังหวัดสงขลา วิธีการในการศึกษาประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ 1) การศึกษาสภาพการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน 2) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินต้นทุนในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์และ 3) การพัฒนากลยุทธ์เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ ผลการศึกษาได้นำเสนอแนวทางในการลดต้นทุนสองแนวทางคือ 1) การกำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ไปศูนย์รวบรวมทั้งหมด ซึ่งต้นทุนจะลดลงจาก 3.647 ล้านบาทต่อเดือน เหลือ 3.422 ล้านบาทต่อเดือนหรือลดลง 6% 2) กำหนดให้มีการส่งขยะคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดไปยังศูนย์รวบรวมโดยตรงซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนลดลงเหลือ 2.413 ล้านบาทต่อเดือนหรือลดลง 34%

Abstract

The objective of this research is to reduce operational cost for computer wastes management system in Songkhla province. There are three steps involved in this research; 1) study the current management system, 2) develop a mathematical model for calculation the total cost in the supply chain, and 3) propose appropriate management systems for reducing operational cost. Two strategies for reducing the total computer waste management cost are proposed: 1) all computer wastes are transported from garbage shops to collection centers, and 2) all computer wastes are transported from source of origin to collection center. The results indicate that the total cost is decreased 6% (from 3.647 million baht per month to 3.422 million baht per month) and 34% (from 3.647 million baht per month to 2.413 million baht per month) for first and second approach, respectively.

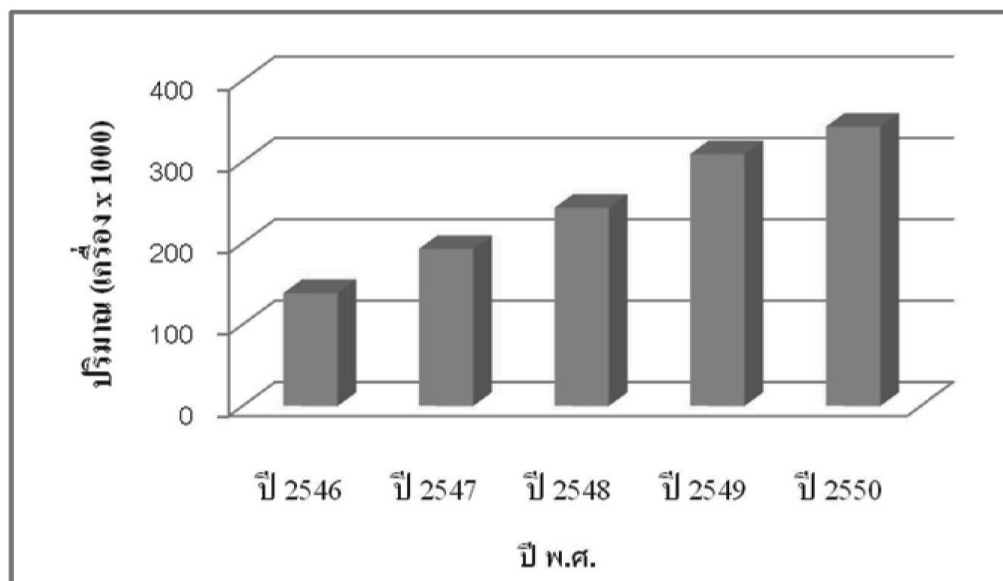
คำสำคัญ: โลจิสติกส์ย้อนกลับ, ขยะคอมพิวเตอร์

Keywords: reverse logistic, computer waste

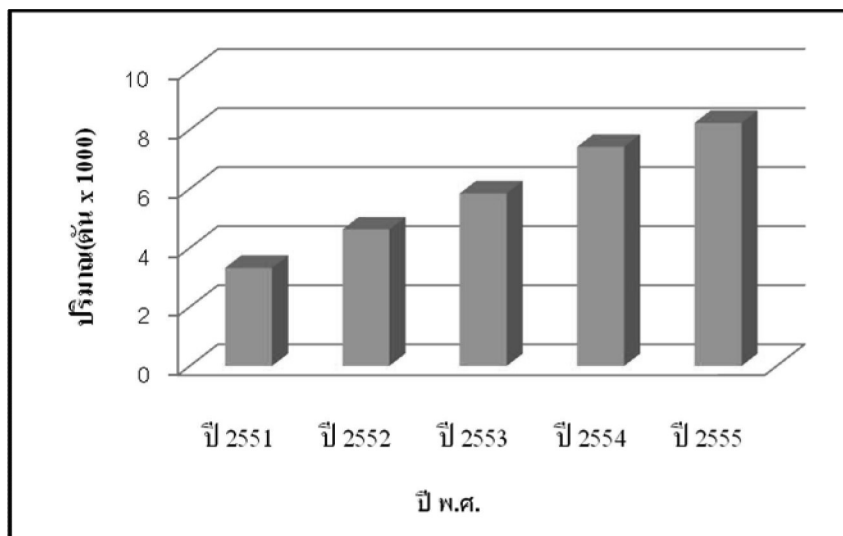
1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้การใช้คอมพิวเตอร์มีปริมาณเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด องค์กรต่างๆทั้งขนาดเล็กและใหญ่ หรือแม้แต่ในครัวเรือนมีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้กันอย่างกว้างขวาง คอมพิวเตอร์เหล่านี้เมื่อหมดสภาพการใช้งานจะกลายเป็นขยะ ซึ่งนับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่ระบบการจัดการคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอ ส่วนใหญ่การกำจัดขยะเหล่านี้จะถูกนำไปกำจัดร่วมกับขยะทั่วไปจากชุมชนซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเผาทิ้งหรือการฝังกลบ ขยะคอมพิวเตอร์ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากสารอันตรายต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ ในทางตรงกันข้ามขยะคอมพิวเตอร์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นการมีระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บ การคัดแยก การขนส่งจะช่วยลดการเกิดขยะที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุน

ในการผลิตคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย (1) แม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ที่แน่นอนแต่จากรายงานจำนวนคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในเขตภาคใต้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 – พ.ศ. 2550 มีประมาณ 138,407 เครื่อง 192,697 เครื่อง 243,305 เครื่อง 309,194 เครื่องและ 342,922 เครื่อง ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 อายุการใช้งานคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5 ปี ดังนั้นคอมพิวเตอร์ที่เริ่มการใช้งานในปี พ.ศ. 2546 จะหมดอายุแปรสภาพเป็นขยะในปี พ.ศ. 2551 และคอมพิวเตอร์ที่เริ่มการใช้งานในปี พ.ศ. 2547 กลายเป็นขยะในปี พ.ศ. 2552 ตามลำดับ เนื่องจากคอมพิวเตอร์ 1 เครื่องมีน้ำหนักเฉลี่ย 27 กิโลกรัม(2) ดังนั้นจึงสามารถคาดการณ์ปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ในภาคใต้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 – พ.ศ. 2555 ประมาณ 3,000 ตัน 4,500 ตัน 5,800 ตัน 7,400 ตัน และ 8,200 ตัน ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 ดังนั้นจึงสมควรที่จะต้องศึกษาระบบในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ที่มีความเหมาะสม เพื่อรองรับปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต



รูปที่ 1 แสดงปริมาณคอมพิวเตอร์ในภาคใต้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 – 2550



รูปที่ 2 แสดงการคาดการณ์ปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ในภาคใต้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 – 2555

โลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) เกี่ยวข้องกับกระบวนการวางแผน ปฏิบัติ และควบคุม การเคลื่อนย้ายของสินค้าและข้อมูลข่าวสารจากปลายทาง ซึ่งได้แก่ผู้บริโภคย้อนกลับไปยังแหล่งผลิตต้นทางอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล กิจกรรมของโลจิสติกส์ย้อนกลับจะคล้ายกับกิจกรรมที่มีในระบบโลจิสติกส์ปกติ เช่น การขนส่ง การพยากรณ์อุปสงค์ การบริหารสินค้าคงคลัง และการจัดการคลังสินค้า เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์โลจิสติกส์ย้อนกลับมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำบรรจุภัณฑ์ สินค้าที่ถูกล้างคืน สินค้าดกรุ่น สินค้าชำรุด/มีตำหนิ หรือวัสดุเหลือหลังจากการอุปโภค/บริโภค มาสร้างมูลค่าใหม่ (Recapturing value) โดยการนำมาใช้ซ้ำ (Reuse) จำหน่ายใหม่ (Resell) ซ่อมแซม (Repair) ทำการผลิตซ้ำ (Remanufacture) ไปจนถึงการนำมาแปรสภาพเป็นวัตถุดิบ (Recycle) เพื่อใช้หมุนเวียนต่อไป ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนในการดำเนินการ ดังนั้นหากบริษัทมีระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับที่ไม่มีประสิทธิภาพก็จะทำให้เกิดต้นทุนโลจิสติกส์สูงเกินไปจะไม่คุ้มค่าต่อการนำสินค้านั้นกลับคืนมา

มีการนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับหลักการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวางในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เช่น Ruth

และ Nucharee (3) ได้นำหลักการ Leagile ซึ่งเป็นการผสมของลีน (Lean) และ Agile มาประยุกต์ใช้กับการโลจิสติกส์ย้อนกลับ เป็นการวิเคราะห์เพื่อเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์บริการลูกค้าที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเพื่อให้ต้นทุนลดลง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าใช้จ่ายในการส่งสินค้าคืนลดลงและความพึงพอใจของลูกค้าเพิ่มสูงขึ้น ในปีพ.ศ. 2549 Tiravat และคณะ (4) ได้ออกแบบเครือข่ายของโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อทำการรีไซเคิลสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในรัฐเท็กซัส โดยการใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (mixed-integer linear programming model) ในการวิเคราะห์หาที่ตั้งโรงงานและใช้ในการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์ โดยพิจารณาถึงผลกำไรรวมทั้งหมดของระบบที่สูงที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sharma และคณะ (5) ที่ศึกษาการจัดการเกี่ยวกับการไหลย้อนกลับของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาถึงสิ่งแวดล้อม โดยใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (mixed-integer linear programming model) ในการทำการศึกษาในระบบโลจิสติกส์แบบย้อนกลับและการศึกษาแนวทางในการดำเนินงานเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุน นอกจากนี้ในปีพ.ศ. 2553 Hamid (6) ได้มีการนำหลักการจัดการโลจิสติกส์ย้อน

กลับไปประยุกต์ใช้เพื่อลดการแพร่กระจายของของเสียในอุตสาหกรรม โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงต้นทุนในด้านต่างๆ เช่น ต้นทุนด้านการดำเนินงาน ค่าใช้จ่ายในการเปิดโรงงาน ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการประมาณต้นทุนสินค้าคงคลัง และค่าใช้จ่ายในส่วนของการผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม

จะเห็นได้ว่าหลักการโลจิสติกส์ย้อนกลับและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แต่งานวิจัยที่ผ่านมาเน้นการหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่เหมาะสม เพื่อการลดต้นทุนและลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมรวมถึงตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าเป็นหลัก งานวิจัยนี้เป็นการนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณการขนส่งขยะคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละเส้นทาง แต่ไม่ได้รวมถึงการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับหน่วยงานต่างๆ นอกจากนี้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการดำเนินงานที่มีผลทำให้ต้นทุนลดลง

2. วิธีวิจัย

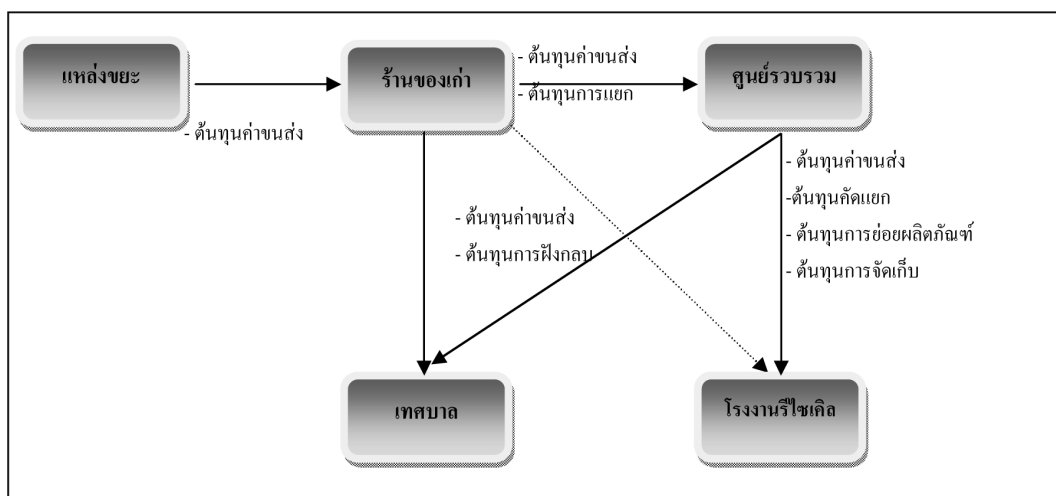
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะคอมพิวเตอร์ มีวิธีการในการศึกษา 3 ขั้นตอนหลักคือ 1) สำรวจและรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาสภาพการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันโดยการสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องเช่น กิจกรรมและต้นทุนต่างๆที่เกิดขึ้นจากร้านรับซื้อของเก่า ศูนย์รวบรวม และโรงงานรีไซเคิล โดยการใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์ 2) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินต้นทุนการขนส่งขยะคอมพิวเตอร์และ 3) พัฒนากลยุทธ์เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม

2.1 ประชากรในการวิจัย

ประชากรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ร้านรับซื้อของเก่าในจังหวัดสงขลา ซึ่งมีทั้งหมด 91 ร้านและศูนย์รวบรวมจำนวน 12 แห่ง ข้อมูลที่ทำการรวบรวมประกอบด้วย แหล่งกำเนิด ปริมาณ การขนส่ง ต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าจัดเก็บ ต้นทุนการคัดแยก และกิจกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน

2.2 โครงสร้างต้นทุนในโซ่อุปทาน

จากการพิจารณาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถสร้างตัวแบบโซ่อุปทานเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของต้นทุน ได้ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ต้นทุนต่างๆ ในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์

จากการศึกษาสภาพการจัดการในปัจจุบันของขยะคอมพิวเตอร์ พบว่ามีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน 5 ฝ่าย ได้แก่ 1) แหล่งกำเนิดขยะคอมพิวเตอร์ 2) ร้านรับซื้อของเก่า 3) ศูนย์รวบรวม 4) โรงงานรีไซเคิล และ 5) เทศบาล ซึ่งแต่ละฝ่ายมีกิจกรรมและต้นทุนที่เกิดขึ้น ดังนี้คือ ชาวเล้งจะรับขยะคอมพิวเตอร์มาจากแหล่งกำเนิดเพื่อนำมาสู่ร้านรับซื้อของเก่า ซึ่งการดำเนินงานในส่วนนี้มีเฉพาะต้นทุนขนส่ง ส่วนที่สองคือซากคอมพิวเตอร์ที่ร้านรับซื้อของเก่าจะถูกแยกออกเป็นส่วนประกอบต่างๆคือ พลาสติก อะลูมิเนียม ทองแดง และขยะทั่วไป หลังจากนั้นส่วนประกอบที่สามารถทำการรีไซเคิลได้จะถูกส่งต่อไปยังศูนย์รวบรวม ส่วนขยะทั่วไปจะส่งไปกำจัดที่เทศบาล นอกจากนี้มีร้านรับซื้อของเก่าบางร้านจะส่งขยะไปสู่โรงงานรีไซเคิลโดยตรง ซึ่งต้นทุนประกอบด้วย ค่าขนส่ง ค่าแรงงาน ค่าใช้จ่ายในคัดแยก และส่วนสุดท้ายคือจากศูนย์รวบรวม ซึ่งรับชิ้นส่วนที่ผ่านการคัดแยกเบื้องต้นจากร้านรับซื้อของเก่า จะถูกคัดแยกอย่างละเอียดเพื่อแบ่งประเภทของขยะและอัดยุบเพื่อส่งไปยังโรงงานรีไซเคิล ซึ่งประกอบด้วยต้นทุน ค่าขนส่ง ค่าแรงงาน ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อและคัดแยกซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1) แหล่งขยะคอมพิวเตอร์ คือสถานที่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของขยะ ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งแหล่งขยะคอมพิวเตอร์เป็นรายอำเภอซึ่งมี 16 อำเภอ ปริมาณของขยะคอมพิวเตอร์ได้มาจากการคาดการณ์จากปริมาณคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ในจังหวัดสงขลา โดยกำหนดให้คอมพิวเตอร์มีน้ำหนักเฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อเครื่อง และกำหนดให้มีอายุการใช้งาน 5 ปี (2)

2) ร้านรับซื้อของเก่า คือฝ่ายที่ทำหน้าที่รับซื้อขยะคอมพิวเตอร์จากผู้บริโภค โดยร้านรับซื้อของเก่าจะมีการกระจายตัวอยู่ในอำเภอต่างๆของจังหวัดสงขลา ซึ่งมีทั้งหมด 91 ร้าน โดยร้านรับซื้อของเก่าจะดำเนินการในการรับซื้อ คัดแยก และจัดเก็บเพื่อส่งต่อไปยังศูนย์รวบรวมในจังหวัดสงขลา แต่มีร้านรับซื้อของเก่าส่วนหนึ่งที่ส่งขยะไปยังโรงงานรีไซเคิลโดยตรงโดยไม่ผ่านศูนย์รวบรวม ในการคัดแยกขยะคอมพิวเตอร์ จะได้ปริมาณของขยะชนิดต่างๆคือพลาสติก 17% อะลูมิเนียม 14% ทองแดง 7% และขยะอื่นๆ 62% ของปริมาณขยะ

คอมพิวเตอร์ทั้งหมด (2)

3) ศูนย์รวบรวม คือฝ่ายที่ทำหน้าที่รับซื้อชิ้นส่วนขยะคอมพิวเตอร์จากร้านรับซื้อของเก่าที่มีจำนวนทั้งหมด 12 แห่ง โดยในศูนย์รวบรวมบางแห่งจะทำการลดขนาดชิ้นส่วนเพื่อที่จะทำให้มีความสะดวกในการขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิล

4) โรงงานรีไซเคิล คือ ฝ่ายที่รับซื้อขยะจากร้านรับซื้อของเก่า และศูนย์รวบรวมเพื่อทำการรีไซเคิลขยะต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนวัตถุดิบต่อไป

5) เทศบาล คือหน่วยงานที่ตั้งอยู่ในอำเภออื่นๆ มีหน้าที่กำจัดขยะทั่วไปที่ไม่สามารถส่งไปโรงงานรีไซเคิลได้

2.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนการขนส่งขยะคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการขนส่งเป็นต้นทุนที่สูงถึง 81% ของต้นทุนทั้งหมดในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเฉพาะต้นทุนในการขนส่ง โดยกำหนดให้

ดัชนี (Indices)

i = แหล่งกำเนิดขยะที่ i

j = ร้านรับซื้อของเก่าที่ j

k = ศูนย์รวบรวมที่ k

l = โรงงานรีไซเคิลที่ l

m = เทศบาลที่ m

COM = ซากคอมพิวเตอร์

P = พลาสติก

A = อะลูมิเนียม

C = ทองแดง

O = ขยะอื่นๆ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

X_{COMij} ปริมาณการขนส่งขยะคอมพิวเตอร์ (ซากคอมพิวเตอร์) จากแหล่งกำเนิดขยะ i สู่ร้านรับซื้อของเก่า j (กิโลกรัม)

X_{Pjk} ปริมาณการขนส่งพลาสติกจากร้านรับซื้อของเก่า j สู่ศูนย์รวบรวม k (กิโลกรัม)

X_{Ajk} ปริมาณการขนส่งอะลูมิเนียมจากร้าน

รับซื้อของเก่า j ศูนย์รวบรวม k (กิโลกรัม)

X_{Cjk} ปริมาณการขนส่งทองแดงจากร้านรับ

ซื้อของเก่า j ศูนย์รวบรวม k (กิโลกรัม)

X_{Pjl} ปริมาณการขนส่งพลาสติกจากร้านรับซื้อ

ของเก่า j ศูนย์งานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

X_{Ajl} ปริมาณการขนส่งอะลูมิเนียมจากร้านรับ

ซื้อของเก่า j ศูนย์งานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

X_{Cjl} ปริมาณการขนส่งทองแดงจากร้านรับซื้อ

ของเก่า j ศูนย์งานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

X_{Ojm} ปริมาณการขนส่งขยะอื่นๆจากร้านรับ

ซื้อของเก่า j เทศบาล m (กิโลกรัม)

X_{Pkl} ปริมาณการขนส่งพลาสติกจากศูนย์

รวบรวม k ศูนย์งานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

X_{Akl} ปริมาณการขนส่งอะลูมิเนียมจากศูนย์

รวบรวม k ศูนย์งานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

X_{Ckl} ปริมาณการขนส่งทองแดงจากศูนย์

รวบรวม k ศูนย์งานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

พารามิเตอร์ (Parameter)

C_{COMij} ต้นทุนการขนส่งซากคอมพิวเตอร์จาก

แหล่งกำเนิดขยะ i ศูนย์รับซื้อของเก่า j (บาท/กิโลกรัม)

C_{Pjk} ต้นทุนการขนส่งพลาสติกจากร้านรับซื้อ

ของเก่า j ศูนย์รวบรวม k (บาท/กิโลกรัม)

C_{Ajk} ต้นทุนการขนส่งอะลูมิเนียมจากร้านรับ

ซื้อของเก่า j ศูนย์รวบรวม k (บาท/กิโลกรัม)

C_{Cjk} ต้นทุนการขนส่งทองแดงจากร้านรับ

ซื้อของเก่า j ศูนย์รวบรวม k (บาท/กิโลกรัม)

C_{Pjl} ต้นทุนการขนส่งพลาสติกจากร้านรับซื้อ

ของเก่า j ศูนย์งานรีไซเคิล l (บาท/กิโลกรัม)

C_{Ajl} ต้นทุนการขนส่งอะลูมิเนียมจากร้านรับซื้อ

ของเก่า j ศูนย์งานรีไซเคิล l (บาท/กิโลกรัม)

C_{Cjl} ต้นทุนการขนส่งทองแดงจากร้านรับซื้อ

ของเก่า j ศูนย์งานรีไซเคิล l (บาท/กิโลกรัม)

C_{Ojm} ต้นทุนการขนส่งขยะอื่นๆจากร้านรับ

ซื้อของเก่า j เทศบาล m (บาท/กิโลกรัม)

C_{Pkl} ต้นทุนการขนส่งพลาสติกจากศูนย์

รวบรวม k ศูนย์งานรีไซเคิล l (บาท/กิโลกรัม)

C_{Akl} ต้นทุนการขนส่งอะลูมิเนียมจากศูนย์

รวบรวม k ศูนย์งานรีไซเคิล l (บาท/กิโลกรัม)

C_{Ckl} ต้นทุนการขนส่งทองแดงจากศูนย์

รวบรวม k ศูนย์งานรีไซเคิล l (บาท/กิโลกรัม)

S_i ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ของแหล่งกำเนิด

ขยะ i (กิโลกรัม)

S_j ความสามารถในการรับซื้อคอมพิวเตอร์

จากร้านรับซื้อของเก่า j (กิโลกรัม)

S_k ความสามารถในการรวบรวมของศูนย์

รวบรวม k (กิโลกรัม)

S_m ความสามารถในการรับขยะ ณ. เทศบาล m

(กิโลกรัม)

D_{Pl} ปริมาณความต้องการพลาสติก ณ. โรงงาน

รีไซเคิล l (กิโลกรัม)

D_{Al} ปริมาณความต้องการอะลูมิเนียม ณ.

โรงงานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

D_{Cl} ปริมาณความต้องการทองแดง ณ. โรงงาน

รีไซเคิล l (กิโลกรัม)

ในการศึกษามีข้อกำหนดในการศึกษาดังนี้

1. กำหนดให้ Node ของแหล่งกำเนิดขยะ

คอมพิวเตอร์เป็นรายอำเภอซึ่งมีทั้งหมด 16 อำเภอ

2. คอมพิวเตอร์มีน้ำหนักเฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อ

เครื่อง ซึ่งมีส่วนประกอบของ พลาสติก 17% อะลูมิเนียม

14% ทองแดง 7% และขยะอื่นๆ 62% ของน้ำหนัก (2)

3. เทศบาลมีจำนวน 16 แห่งตามรายอำเภอ

4. โรงงานรีไซเคิลมีจำนวน 1 แห่งตั้งอยู่ที่

กรุงเทพมหานคร

5. พาหนะในการขนส่งกำหนดดังนี้คือ จาก

แหล่งกำเนิดไปร้านรับซื้อของเก่าใช้รถบรรทุก 3 ล้อ (ซา

เล้ง) จากร้านรับซื้อของเก่าไปศูนย์รวบรวมและจากร้าน

รับซื้อของเก่าไปเทศบาลใช้รถบรรทุก 4 ล้อ จากร้านรับ

ซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิลใช้รถบรรทุก 6 ล้อ และจาก

ศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิลใช้รถบรรทุก 10 ล้อ

6. การพิจารณาหน่วยในการคำนวณต้นทุน

ทางคณิตศาสตร์ กำหนดเป็นกิโลกรัม ตลอดทั้งใช้อุปทาน

ของระบบการจัดการขยะ

7. กำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่า ศูนย์รวบรวม

และเทศบาล มีความสามารถในการรองรับขยะได้ไม่จำกัด

8. ในการแก้สมการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

LINDO 14.0

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min} \left[\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{91} C_{\text{COMij}} X_{\text{COMij}} + \sum_{j=1}^{91} \sum_{k=1}^{12} C_{\text{Pjk}} X_{\text{Pjk}} + \sum_{j=1}^{91} \sum_{k=1}^{12} C_{\text{Ajk}} X_{\text{Ajk}} + \sum_{j=1}^{91} \sum_{k=1}^{12} C_{\text{Cjk}} X_{\text{Cjk}} \\ & + \sum_{j=1}^{91} \sum_{l=1}^{16} C_{\text{Pjl}} X_{\text{Pjl}} + \sum_{j=1}^{91} \sum_{l=1}^{16} C_{\text{Ajl}} X_{\text{Ajl}} + \sum_{j=1}^{91} \sum_{l=1}^{16} C_{\text{Cjl}} X_{\text{Cjl}} + \sum_{j=1}^{91} \sum_{m=1}^{16} C_{\text{Ojm}} X_{\text{Ojm}} \\ & + \sum_{k=1}^{12} \sum_{l=1}^{16} C_{\text{Pkl}} X_{\text{Pkl}} + \sum_{k=1}^{12} \sum_{l=1}^{16} C_{\text{Akl}} X_{\text{Akl}} + \sum_{k=1}^{12} \sum_{l=1}^{16} C_{\text{Ckl}} X_{\text{Ckl}} \end{aligned} \right] \quad (1)$$

ข้อจำกัดของปัญหา

$$\sum_{j=1}^{91} X_{\text{COMij}} = S_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, 16$$

ปริมาณการขนส่งชิ้นส่วนอะไหล่คอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดขยะ i สู่อำเภอรับซื้อของเก่า j เท่ากับปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ที่มีในแหล่ง i (กิโลกรัม)

$$\sum_{i=1}^{16} (0.17) X_{\text{COMij}} - \sum_{k=1}^{12} X_{\text{Pjk}} \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, 91$$

ปริมาณการขนส่งพลาสติกจากร้านรับซื้อของเก่า j สู่อำเภอรวบรวม k ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดขยะ i (กิโลกรัม)

$$\sum_{i=1}^{16} (0.14) X_{\text{COMij}} - \sum_{k=1}^{12} X_{\text{Ajk}} \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, 91$$

ปริมาณการขนส่งอะลูมิเนียมจากร้านรับซื้อของเก่า j สู่อำเภอรวบรวม k ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดขยะ i (กิโลกรัม)

$$\sum_{i=1}^{16} (0.07) X_{\text{COMij}} - \sum_{k=1}^{12} X_{\text{Cjk}} \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, 91$$

ปริมาณการขนส่งทองแดงจากร้านรับซื้อของเก่า j สู่อำเภอรวบรวม k ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดขยะ i (กิโลกรัม)

$$\sum_{i=1}^{16} (0.17) X_{\text{COMij}} - \sum_{k=1}^{12} X_{\text{Pjl}} \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, 91$$

ปริมาณการขนส่งพลาสติกจากร้านรับซื้อของเก่า j สู่อำเภอรับซื้อของเก่า l ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดขยะ i (กิโลกรัม)

$$\sum_{i=1}^{16} (0.14) X_{\text{COMij}} - \sum_{k=1}^{12} X_{\text{Ajl}} \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, 91$$

ปริมาณการขนส่งอะลูมิเนียมจากร้านรับซื้อของเก่า j สู่อำเภอรับซื้อของเก่า l ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดขยะ i (กิโลกรัม)

$$\sum_{i=1}^{16} (0.07) X_{\text{COMij}} - \sum_{k=1}^{12} X_{\text{Cjl}} \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, 91$$

ปริมาณการขนส่งทองแดงจากร้านรับซื้อของเก่า j สู่อำเภอรับซื้อของเก่า l ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดขยะ i (กิโลกรัม)

$$\sum_{i=1}^{16} (0.62) X_{\text{COMij}} - \sum_{k=31}^{12} X_{\text{Ojm}} \geq 0 \quad \text{for } j=1, 2, \dots, 91$$

ปริมาณการขนส่งขยะอื่นๆ จากร้านรับซื้อของเก่า j สู่อำเภอ m ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดขยะ i (กิโลกรัม)

$$\sum_{j=1}^{91} X_{\text{Pjk}} + \sum_{j=1}^{91} X_{\text{Ajk}} + \sum_{j=1}^{91} X_{\text{Cjk}} \leq S_k \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, 12$$

ปริมาณการขนส่งชิ้นส่วนขยะคอมพิวเตอร์จากร้านรับซื้อของเก่า j ศูนย์รวบรวม k ต้องไม่เกินความสามารถของศูนย์รวบรวม k (กิโลกรัม)

$$\sum_{j=1}^{91} x_{Pjk} - \sum_{l=1}^1 x_{Pkl} \geq 0 \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, 12$$

ปริมาณการขนส่งพลาสติกจากศูนย์รวบรวม k ผู้โรงงานรีไซเคิล l ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากร้านรับซื้อของเก่า j (กิโลกรัม)

$$\sum_{j=1}^{91} x_{Ajk} - \sum_{l=1}^1 x_{Akl} \geq 0 \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, 12$$

ปริมาณการขนส่งอะลูมิเนียมจากศูนย์รวบรวม k ผู้โรงงานรีไซเคิล l ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากร้านรับซื้อของเก่า j (กิโลกรัม)

$$\sum_{j=1}^{91} x_{Cjk} - \sum_{l=1}^1 x_{Ckl} \geq 0 \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, 12$$

ปริมาณการขนส่งทองแดงจากศูนย์รวบรวม k ผู้โรงงานรีไซเคิล l ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากร้านรับซื้อของเก่า j (กิโลกรัม)

$$\sum_{j=1}^{91} x_{Ojm} \leq S_m \quad \text{for } m = 1, 2, \dots, 16$$

ปริมาณการขนส่งขยะอื่นๆจากร้านรับซื้อของเก่า j ต้องไม่เกินความสามารถการรับขยะของเทศบาล m (กิโลกรัม)

$$\sum_{k=1}^{12} x_{Pkl} \leq D_{Pl} \quad \text{for } l = 1$$

ปริมาณการขนส่งพลาสติกจากศูนย์รวบรวม k ผู้โรงงานรีไซเคิล l ต้องไม่เกินปริมาณความต้องการพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

$$\sum_{k=1}^{12} x_{Akl} \leq D_{Al} \quad \text{for } l = 1$$

ปริมาณการขนส่งอะลูมิเนียมจากศูนย์รวบรวม k ผู้โรงงานรีไซเคิล l ต้องไม่เกินปริมาณความต้องการอะลูมิเนียมของโรงงานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

$$\sum_{k=1}^{12} x_{Ckl} \leq D_{Cl} \quad \text{for } l = 1$$

ปริมาณการขนส่งทองแดงจากศูนย์รวบรวม k ผู้โรงงานรีไซเคิล l ต้องไม่เกินปริมาณความต้องการทองแดงของโรงงานรีไซเคิล l (กิโลกรัม)

ภายใต้เงื่อนไข

$$x_{COMij} + x_{Pjk} + x_{Ajk} + x_{Cjk} + x_{Pjl} + x_{Ajl} + x_{Cjl} + x_{Ojm} + x_{Pkl} + x_{Akl} + x_{Ckl} \geq 0$$

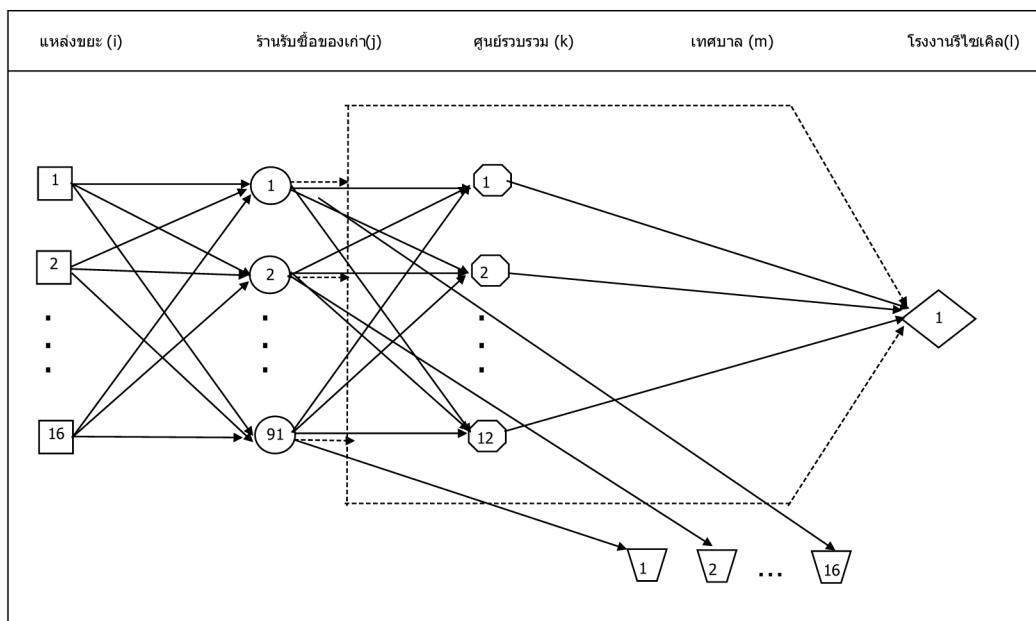
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการรวบรวมข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาวิเคราะห์สภาพการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ พบว่าการดำเนินงานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือขยะคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดจะถูกส่งไปยังร้านรับซื้อของเก่าเพื่อทำการคัดแยกขยะเหล่านั้นออกเป็น พลาสติก อะลูมิเนียม และทองแดง ซึ่งจะทำการส่งต่อไปยังศูนย์รวบรวมแล้วส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลเพื่อทำการรีไซเคิลต่อไป โดยขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้จะส่งไปยังเทศบาลภายในอำเภอนั้นๆ โดยมีผลการศึกษาดังนี้

3.1 สภาพปัจจุบันของการจัดการขยะคอมพิวเตอร์

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของขยะคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงโครงสร้างโซ่อุปทานของระบบจัดการได้ดังรูปที่ 4 และแสดงต้นทุนในรายละเอียดดังตารางที่ 1 ทำให้ทราบถึงต้นทุนการดำเนินงานโดยมีโครงสร้างต้นทุนดังนี้ คือ

ต้นทุนรวม = ต้นทุนการขนส่งขยะจากแหล่งวัตถุดิบสู่ร้านรับซื้อของเก่า + ต้นทุนการคัดแยกที่ร้านรับซื้อของเก่า + ต้นทุนการขนส่งของพลาสติก อะลูมิเนียม และทองแดง จากร้านรับซื้อของเก่าสู่ศูนย์รวบรวม + ต้นทุนการคัดแยกที่ศูนย์รวบรวม + ต้นทุนการขนส่งของพลาสติก อะลูมิเนียม และทองแดง จากศูนย์รวบรวมสู่โรงงานรีไซเคิล + ต้นทุนการขนส่งขยะจากร้านรับซื้อของเก่าสู่เทศบาล + ต้นทุนการจัดการขยะ ณ เทศบาล



รูปที่ 4 ห่วงโซ่อุปทานของขยะคอมพิวเตอร์ในจังหวัดสงขลาในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 ต้นทุนในแต่ละส่วนของขยะคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

รายการ	ต้นทุน (บาท/เดือน)	สัดส่วน (%)
ต้นทุนการขนส่งจากแหล่งขยะไปร้านรับซื้อของเก่า	140,093	3.84
ต้นทุนร้านรับซื้อของเก่า	311,220	8.53
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปศูนย์รวบรวม	887,846	24.34
ต้นทุนศูนย์รวบรวม	331,760	9.10
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิล	808,772	22.18
ต้นทุนการขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิล	1,067,420	29.27
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปเทศบาล	17,124	0.47
ต้นทุนของเทศบาล	82,881	2.27
ต้นทุนรวม	3,647,116	100

จากการคำนวณต้นทุนในโซ่อุปทานของการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในสภาพปัจจุบันพบว่าต้นทุนรวมของทั้งระบบเท่ากับ 3,647,116 บาท/เดือน ต้นทุนที่สูงที่สุดคือต้นทุนการขนส่งจากศูนย์รวบรวมสู่โรงงานรีไซเคิลซึ่งมีค่าประมาณ 29% ของต้นทุนทั้งระบบ รองลงมาเป็นต้นทุนขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าสู่ศูนย์รวบรวม ซึ่งคิดเป็น 24% และอันดับที่สามเป็นต้นทุนการขนส่ง

จากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิลมีค่าประมาณ 22% ของต้นทุนทั้งหมดจะเห็นได้ว่าต้นทุนการขนส่งโดยรวมทั้งสามส่วนคิดเป็น 81% ของต้นทุนรวมทั้งระบบ ดังนั้นในการพิจารณาลดต้นทุนในโซ่อุปทานควรมุ่งเน้นให้ความสำคัญที่กิจกรรมการขนส่ง เช่นการวิเคราะห์เส้นทาง ปริมาณ และประเภทของพาหนะที่เหมาะสมในการขนส่ง

3.2 แนวทางการจัดการขยะคอมพิวเตอร์

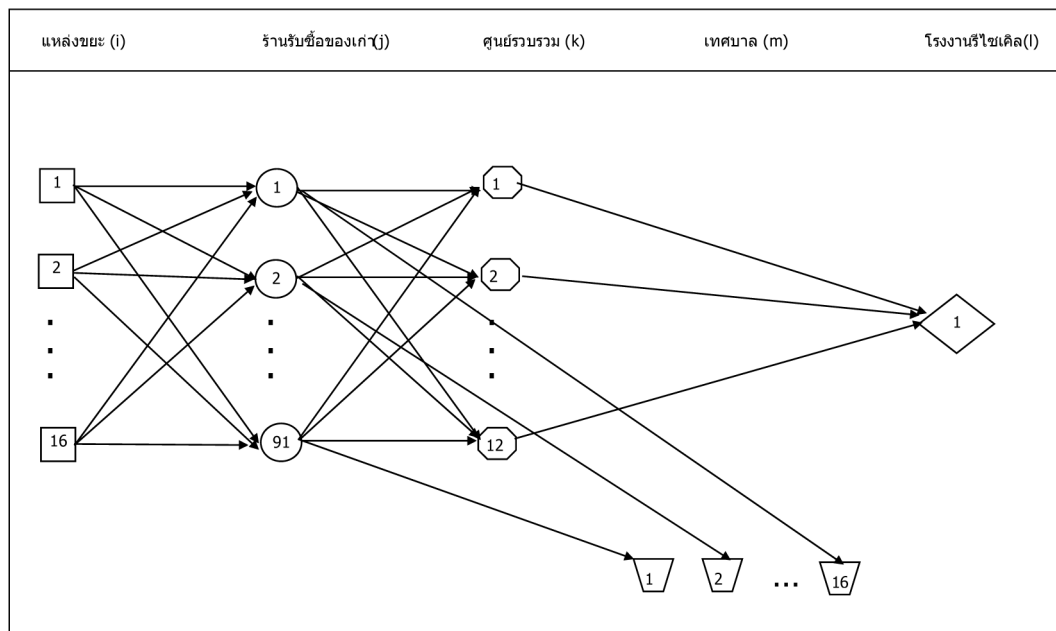
จากการวิเคราะห์การดำเนินงานในปัจจุบันพบว่าต้นทุนการขนส่งระหว่างศูนย์รวบรวมกับโรงงานรีไซเคิล ระหว่างร้านรับซื้อของเก่ากับศูนย์รวบรวม และระหว่างร้านรับซื้อของเก่ากับโรงงานรีไซเคิลเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดต้นทุนในโซ่อุปทานที่สูง ดังนั้นในการนำเสนอแนวทางเพื่อลดต้นทุนจะมุ่งเน้นที่การปรับปรุงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการขนส่งดังกล่าว ซึ่งมี 2 แนวทางคือ 1) กำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ทั้งหมดไปศูนย์รวบรวม และ 2) กำหนดให้มีการส่งขยะคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดไปยังศูนย์รวบรวมของเก่าโดยตรง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ทั้งหมดไปศูนย์รวบรวม

จากการสำรวจสภาพการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันพบว่าขยะคอมพิวเตอร์ประมาณ 30% ของปริมาณทั้งหมดมีการขนส่งโดยตรงจากร้านรับซื้อของเก่าไปสู่โรงงานรีไซเคิลโดยไม่ผ่านศูนย์รวบรวม ดังนั้นแนวทางในการลดต้นทุนที่น่าเสนอคือ กำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ไปศูนย์รวบรวมโดยตรงทั้งหมดโดยไม่มีการส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิล ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองโซ่อุปทานของขยะคอมพิวเตอร์ได้ดังรูปที่ 5 จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ 1 คำนวณพบว่าต้นทุนรวมของทั้งระบบจะมีค่าประมาณ 3,422,211 บาทต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการดำเนินการในปัจจุบันพบว่าต้นทุนรวมลดลง 224,905 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 6% จากการวิเคราะห์พบว่าต้นทุนการขนส่งขยะจากแหล่งกำเนิดไปสู่ร้านรับซื้อของเก่าตามแนวทางของข้อเสนอแนะในกรณีที่ 1 เท่ากับ 89,579 บาทต่อเดือน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าต้นทุนการขนส่งในปัจจุบัน 50,514 บาทต่อเดือน (ต้นทุนการขนส่งขยะจากแหล่งกำเนิดไปสู่ร้านรับซื้อของเก่าในปัจจุบันเท่ากับ 140,093 บาทต่อเดือน) ทั้งนี้เนื่องจากในการวิเคราะห์สำหรับกรณีที่ 1 จากการ

ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ มีผลทำให้ได้เส้นทางและปริมาณของขยะที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด จากการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปศูนย์รวบรวมของวิธีการปัจจุบันมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ 1 เท่ากับ 424,196 บาทต่อเดือน ($1,312,042 - 887,846$) และต้นทุนการขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิลของวิธีการปัจจุบันต่ำกว่ากรณีที่ 1 เท่ากับ 55,607 บาทต่อเดือน ($1,123,027 - 1,067,420$) ดังนั้นต้นทุนการขนส่งที่เพิ่มขึ้นของกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 479,803 บาทต่อเดือน ($424,196 + 55,607$) ในขณะที่ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิลในการดำเนินการในปัจจุบันมีค่า 808,772 บาทต่อเดือน ดังนั้นถ้าโดยรวมแล้วการขนส่งในกรณีที่ 1 จะมีต้นทุนลดลง

เหตุผลสำคัญที่ทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลง เนื่องจากการขนส่งขยะคอมพิวเตอร์จากร้านรับซื้อของเก่าไปสู่โรงงานรีไซเคิลที่ใช้รถบรรทุกขนาดเล็ก ส่วนการขนส่งของศูนย์รวบรวมไปสู่โรงงานรีไซเคิลจะใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ จากการศึกษาต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งพบว่า ต้นทุนในการขนส่งที่ใช้รถบรรทุกขนาดเล็กมีต้นทุนต่อหน่วยสูงกว่าการใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จึงทำให้ต้นทุนของการกำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ไปศูนย์รวบรวมทั้งหมด จึงมีค่าต่ำกว่าการดำเนินงานในปัจจุบัน นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับการดำเนินการจริง การขนส่งในบางครั้งจะมีการบรรทุกไม่เต็มเที่ยว เนื่องจากข้อกำหนดด้านปริมาณและด้านเวลา เหตุการณ์ดังกล่าวยิ่งทำให้ต้นทุนในการขนส่งในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้นกว่าที่ควรจะเป็น แต่สถานการณ์นี้ไม่ได้รวมไว้ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกปริมาณและ เส้นทางของการขนส่งที่เหมาะสมเพื่อทำให้ต้นทุนต่ำสุดในการดำเนินการ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ต้นทุนโดยรวมของการจัดการในกรณีนี้มีค่าต่ำกว่าวิธีการในปัจจุบัน ต้นทุนของกิจกรรมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 5 ตัวแบบจำลองโซ่อุปทานของขยะคอมพิวเตอร์ กรณีที่ 1

ตารางที่ 2 ต้นทุนในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์กรณีที่ 1

รายการ	ต้นทุน (บาท/เดือน)	สัดส่วน (%)
ต้นทุนการขนส่งจากแหล่งขยะไปร้านรับซื้อของเก่า	89,579	2.62
ต้นทุนร้านรับซื้อของเก่า	311,220	9.09
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปศูนย์รวบรวม	1,312,042	38.34
ต้นทุนศูนย์รวบรวม	491,142	14.35
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิล	-	0.00
ต้นทุนการขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิล	1,123,027	32.82
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปเทศบาล	12,320	0.36
ต้นทุนร้านรับซื้อของเทศบาล	82,881	2.42
ต้นทุนรวม	3,422,211	100

จากการวิเคราะห์กิจกรรมในโซ่อุปทานการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในกรณีที่กำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ไปศูนย์รวบรวมทั้งหมด โดยไม่มีการส่งโดยตรงจากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิล พบว่าต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปศูนย์รวบรวมมีค่าประมาณ 38% และการขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปสู่โรงงานรีไซเคิลสูงถึง 33% ของต้นทุนทั้งระบบ ในการพิจารณาที่จะลดต้นทุนการขนส่งเหล่านี้

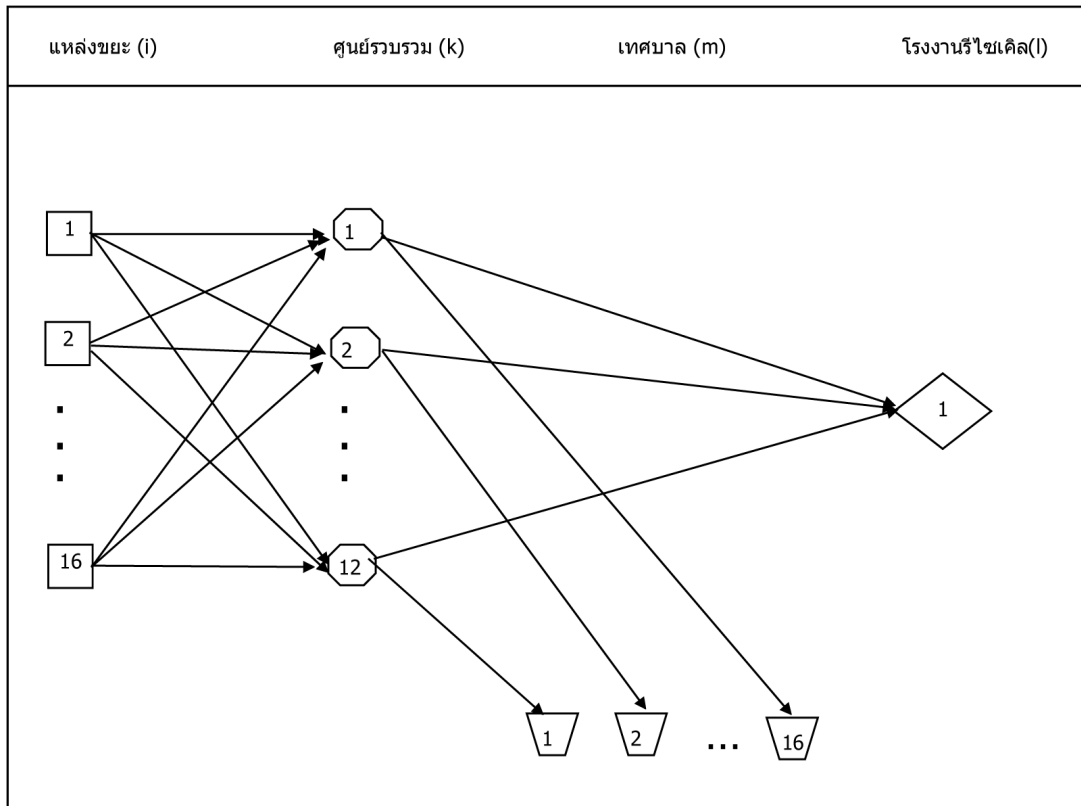
นี้ ต้องมีการพิจารณาเรื่องการหาทำเลที่ตั้งและจำนวนของโรงงานรีไซเคิลที่เหมาะสม รวมทั้งมีการพิจารณาเรื่องประเภทของพาหนะในการขนส่งซึ่งไม่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้

กรณีที่ 2 กำหนดให้มีการส่งขยะคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดไปยังศูนย์รวบรวมของเก่าโดยตรง

การกำหนดให้การส่งขยะคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดไปศูนย์รวบรวมโดยตรง ซึ่งสามารถแสดง

แบบจำลองโซ่อุปทานของขยะคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 6 และแสดงต้นทุนในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ดังตารางที่ 3 จากการวิเคราะห์พบว่าต้นทุนในการดำเนินงานรวมของโซ่อุปทานมีค่า 2,413,774 บาทต่อเดือน ซึ่งลดลงจากการดำเนินงานในปัจจุบัน 1,233,342 บาทต่อเดือน หรือ

ลดลง 33.81% ต้นทุนที่สูงที่สุดในกรณีนี้คือต้นทุนการขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิลซึ่งสูงถึง 49% ของต้นทุนทั้งหมด ต้นทุนอันดับที่สองคือต้นทุนการขนส่งจากแหล่งกำเนิดขยะไปศูนย์รวบรวมซึ่งมีค่า 26%



รูปที่ 6 ตัวแบบจำลองโซ่อุปทานของขยะคอมพิวเตอร์กรณีที่ 2

ตารางที่ 3 ต้นทุนในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ครั้งที่ 2

รายการ	ต้นทุน (บาท/เดือน)	สัดส่วน (%)
ต้นทุนการขนส่งจากแหล่งขยะไปศูนย์รวบรวม	625,182	25.90
ต้นทุนร้านรับซื้อของเก่า	0	0.00
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปศูนย์รวบรวม	0	0.00
ต้นทุนศูนย์รวบรวม	521,142	21.59
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิล	-	0.00
ต้นทุนการขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิล	1,173,027	48.60
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปเทศบาล	11,542	0.48
ต้นทุนร้านรับซื้อของเทศบาล	82,881	3.43
ต้นทุนรวม	2,413,774	100

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า สภาพปัจจุบันของการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในจังหวัดสงขลามีต้นทุนรวมเป็น 3.647 ล้านบาท/เดือน เมื่อกำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ทั้งหมดไปสู่ศูนย์รวบรวมจะทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลงเหลือ 3.422 ล้านบาท/เดือน เนื่องจากการเปลี่ยนพาหนะในการขนส่งจากรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นรถบรรทุกขนาดใหญ่ซึ่งมีต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งต่ำกว่า รวมทั้งจากการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ จะเลือกปริมาณและเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม ในกรณีที่ร้านรับซื้อของเก่าต้องการส่งขยะไปโรงงานรีไซเคิลโดยตรงเนื่องจากมีส่วนต่างของผลกำไร

ที่มากกว่าอาจพิจารณาใช้รถร่วมกันหลายๆ ร้านหรืออาจให้บริการของบริษัทขนส่ง (Third party) สำหรับข้อเสนอแนวทางการขนส่งขยะจากแหล่งกำเนิดไปสู่ศูนย์รวบรวมโดยตรง จะสามารถลดต้นทุนในโซ่อุปทานได้ในสัดส่วนที่สูงคือต้นทุนทั้งระบบลดลงเหลือ 2.413 ล้านบาท/เดือน อย่างไรก็ตามในการนำแนวคิดดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ค่อนข้างเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ แต่หากมีการเพิ่มจำนวนศูนย์รวบรวมหรือมีการปรับเปลี่ยนจากร้านรับซื้อของเก่าให้เป็นศูนย์รวบรวม คือมีการเพิ่มกิจกรรมการอัด-ยุบ ขยะให้มีขนาดเล็กลงเข้าไปในร้านรับซื้อของเก่าเดิม จะเป็นการเพิ่มโอกาสของการนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้มากขึ้นการเปรียบเทียบต้นทุนการดำเนินการทั้งสามระบบสามารถแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ต้นทุนในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ทั้ง 3 กรณี

รายการ	ต้นทุน (บาท/เดือน)		
	วิธีปัจจุบัน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
ต้นทุนการขนส่งจากแหล่งขยะไปร้านรับซื้อของเก่า	140,093	89,579	-
ต้นทุนการขนส่งจากแหล่งขยะไปศูนย์รวบรวม	-	-	625,182
ต้นทุนร้านรับซื้อของเก่า	311,220	311,220	-
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปศูนย์รวบรวม	887,846	1,312,042	-
ต้นทุนศูนย์รวบรวม	331,760	491,142	521,142
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปโรงงานรีไซเคิล	808,772	-	-
ต้นทุนการขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิล	1,067,420	1,123,027	1,173,027
ต้นทุนการขนส่งจากร้านรับซื้อของเก่าไปเทศบาล	17,124	12,320	11,542
ต้นทุนของเทศบาล	82,881	82,881	82,881
ต้นทุนรวม	3,647,116	3,422,211	2,413,774

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันและแนวทางเบื้องต้นในการลดต้นทุนรวมของทั้งโซ่อุปทานโดยเริ่มตั้งแต่แหล่งกำเนิดขยะไปจนถึงโรงงานรีไซเคิล ในการนำแนวคิดที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้อาจต้องมีการศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติมในประเด็นต่างๆ เช่นการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง ขนาด และจำนวนของ ร้านรับซื้อของเก่า ศูนย์รวบรวม และโรงงานรีไซเคิล โดยมีการขยายขอบเขตของการศึกษาให้กว้างขึ้นในระดับภูมิภาค หรือระดับประเทศและควรเพิ่มการศึกษาในเรื่องผลกระทบของสิ่งแวดล้อมด้วยรวมทั้งหน่วยงานภาครัฐหรือองค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่นควรมีส่วนร่วมในการผลักดันและสนับสนุนในการดำเนินการดังกล่าว

5. เอกสารอ้างอิง

- (1) Electronic wastes in Thailand, [Internet] 2011 July. Available from http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=2536
- (2) A volume of electronic wastes project, [Internet] Apr 2011. Available from http://infofile.pcd.go.th/haz/Electric_meeting.pdf?CFID=2267997&CFTOKEN=2561249
- (3) Ruth Banomyong and Nucharee Supatn.2008. Leagility in reverse logistics process . [Internet] 2011 June Available from <http://www.bus.tu.ac.th/usr/ruth/file/Leagility%20in%20reverse%20logistics.pdf>
- (4) Tiravat Assavapokee, Pantanat Wayuparb, and Heng Yao. [Internet] 2006 Jan. REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN FOR ELECTRONIC PRODUCTS IN THE STATE OF TEXAS, 2011 Sep 7. Available from http://www.egr.uh.edu/ie/faculty/Assavapokee/Assavapokee_et_al_RPS_paper_2006.pdf
- (5) Marayart Yothongyod and Pranee Sawatdisap. [Internet] 2008 Feb. Size estimation for sample. 2008 Aug, Available from <http://research.bu.ac.th/knowledge/kn46/Samplesize.pdf>
- (6) Pourmhammadi Hamid. [Internet] 2010. Sustainable Reverse Logistics for Distribution of Industrial Waste/By-Products, 2010 Aug, 6. Available from <http://www-bcf.usc.edu/~maged/publications/jcp.pdf>