การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8
22-23 เมษายน 2553

โลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์

Reverse Logistics in Computer Industry – A Review Paper

อินทิรา ภูมิไชยา พินิจ ดวงจินดา
คณะเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.เมือง จ.สงขลา 90000
E-mail: inthira@coe.psu.ac.th

Inthira Poomchaiya Pinit Dungchjinda
Faculty of Economics and Business Administration, Thaksin University, Muang, Songkhla 90000, Thailand
E-mail: inthira@coe.psu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการทบทวนระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเสนอแนะแนวทางการจัดการกระบวนการโลจิสติกส์ในทิศทางตรงกันข้ามที่มีเป้าหมายเพื่อนำสินค้าที่หมดสภาพหรือไม่ใช้งานแล้วนำกลับมาเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (Recycle) นำกลับมาใช้งาน (Re-use) การนำไปตกแต่งใหม่ (Refurbished) และการทำลาย (Dispose) ในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ บทความนี้ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทำการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ กระบวนการจัดการโลจิส ติกส์ย้อนกลับ การวิเคราะห์ในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์ การคิดต้นทุนและผลกำไร รวมทั้งนำเสนอตัวอย่างงานวิจัยโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ในต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางส่งเสริมการทำให้ขยะมีมูลค่าและสามารถกำจัดได้อย่างถูกต้องไม่ให้เป็นภัยต่อสิ่งแวดล้อม

คำหลัก จุดคุ้มทุน โลจิสติกส์ย้อนกลับ รีไซเคิล อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ ห่วงโซ่อุปทาน

Abstract

In this paper, we review the reverse logistic in computer industry. We intend to suggest the reverse supply chain management that used to bring the computer back from customer to the manufacturer for recycle, reuse, refurbished or dispose. This paper gathers several research works that involve with recycle computer, reverse logistic management, economical analysis cost and profit model and also case study of computer recycle in developed countries. The information carried out in this paper is expected to encourage and support to gain the benefit from e-waste. Furthermore, the toxic scrap can be disposed properly and not affect to the environment.

Keywords: Break-even point, Reverse logistic, Recycle, Computer industry, Supply chain

1. บทนำ

มีผู้ให้คำนิยามของโลจิสติกส์ (Logistics) ไว้มากมายและหลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นกับแหล่งที่มาและการนำไปใช้ คำนิยามของโลจิสติกส์จึงมีความหมายดังต่อไปนี้

- หมายถึง กระบวนการในการวางแผน การดำเนินงาน และการควบคุมอย่างมีประสิทธิผลในการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บสินค้า บริการ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากจุดเริ่มต้นของวัตถุดิบไปสู่จุดที่มีการบริโภค ในรูปแบบที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ [1]

- นิยามจาก The Council of Logistical Management (CLM) กล่าวไว้ว่า โลจิสติกส์เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการโซ่อุปทาน เพื่อช่วยในการวางแผน การสนับสนุน การควบคุมการไหลอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล

- นิยามจาก The Chartered Institute of Logistics and Transport (CILT) มีไว้ว่าเป็นการจัดการวางตำแหน่งของทรัพยากร โดยสัมพันธ์กับเวลา

ส่วน Reverse Logistics ซึ่งเป็นโลจิสติกส์สำหรับการส่งคืนสินค้า ซึ่ง Rogers and Tibben-Lembke[2], Fleischmann[3] และ Stock[4] ก็ได้ให้คำนิยาม Reverse Logistics ไปในทางเดียวกันว่าเป็นการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือวัตถุดิบในทิศทางย้อนกลับโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างมูลค่า หรือใช้ประโยชน์ในมูลค่าสินค้าที่ยังมีอยู่ หรือเพื่อทำลายทิ้งอย่างเหมาะสม

จากคำนิยามของกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับทำให้สามารถนำมาใช้ในส่วนที่เกี่ยวเนื่องกับการนำสินค้าที่หมดอายุหรือไม่ใช้งานแล้ว กลับมาเข้ากระบวนการรีไซเคิล เพื่อช่วยลดการ

สั่งซื้อวัตถุดิบ และเพื่อการกำจัดอย่างถูกวิธีไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ในบทความนี้มุ่งเน้นให้ความสนใจกับการส่งกลับขยะอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์เนื่องจากยังไม่มีการจัดการกระบวนการรีไซเคิลทั้งระบบอย่างจริงจัง

จากข้อมูลตัวเลขของสถาบันอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม พบว่าประเทศไทยมีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งานอย่างแพร่หลายในทุกองค์กรทุกหน่วยงาน อีกทั้งความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วทำให้ราคาของคอมพิวเตอร์ถูกลงไปมาก ทำให้ยอดขายคอมพิวเตอร์ในประเทศทั้งคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะสูงขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 980,000 เครื่องในปี 2551[5] และโดยเฉลี่ยจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ประมาณเครื่องละ 3 ปี ก็จะตกรุ่น ผู้ใช้จะมีพฤติกรรมเปลี่ยนเครื่องใหม่ทันทีเนื่องจากราคาไม่ได้สูงมาก ทำให้ประเทศไทยควรจะมีแผนเตรียมรับมือกับปริมาณของขยะคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นอย่างถูกต้องและมีระบบ

ปัจจุบันเริ่มมีกระบวนการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น โดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้วมีความตื่นตัวในเรื่องนี้เป็นอย่างมาก แต่การรีไซเคิลไม่ได้ถูกมองรวมเป็นภาพเดียวกันกับกระบวนการจัดการห่วงโซ่อุปทานในสินค้าเหล่านั้น ดังนั้นโลจิสติกส์ย้อนกลับของคอมพิวเตอร์จะหมายถึงการจัดการนำคอมพิวเตอร์ที่ไม่ต้องการจากผู้ใช้กลับสู่ผู้ผลิตและรวมถึงกระบวนการรีไซเคิล นำกลับมาใช้และการทำลายอย่างถูกวิธี แต่ในบทความนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการรีไซเคิลเท่านั้น โดยแบ่งรูปแบบของการนำเสนอออกเป็น 4 ส่วน ส่วนที่ 1 คือการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ว่าคอมพิวเตอร์ 1 เครื่องสามารถนำมารีไซเคิลได้เป็นสัดส่วนมากน้อยเท่าใด ส่วนที่ 2 เป็นการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ ส่วนที่ 3 เป็นการหาต้นทุนและผลกำไรของกระบวนโลจิสติกส์ย้อนกลับและสุดท้ายเป็นการสรุปการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ของประเทศพัฒนาแล้วและโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์

2. การรีไซเคิลคอมพิวเตอร์

โดยปกติคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญได้แก่ จอ คีย์บอร์ดและชุดประมวลผล ซึ่งสามารถสรุปชิ้นส่วนวัสดุของคอมพิวเตอร์ 1 เครื่องออกเป็นสัดส่วนที่สามารถนำไปทำการรีไซเคิลได้ดังตารางที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแต่ละองค์ประกอบหลักของคอมพิวเตอร์พบว่า จอเป็นส่วนที่มีขนาดและน้ำหนักที่มากที่สุด แต่จะประกอบด้วยวัสดุที่สามารถนำมารีไซเคิลได้น้อยที่สุดและวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลักก็ก่อให้เกิดอันตรายมากที่สุดเช่นกัน ส่วนประกอบของจอที่สำคัญมี พลาสติกที่ห่อหุ้นภายนอก หลอดฉายภาพที่เรียกว่า CRT (Cathode ray tube) โลหะ แผงวงจร สายไฟ และยาง โดยสัดส่วนของวัสดุที่ใช้ทำจอภาพของคอมพิวเตอร์จำแนกได้ดังตารางที่ 2 โดยทำการวิเคราะห์จากจอสีของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาด 14 นิ้วของ Philip[6] ซึ่งเป็นตัวแทนของจอภาพแบบCRT เนื่องจากเทคโนโลยีของจอภาพแบบเดียวกันจะมีวัสดุที่เป็นองค์ประกอบที่ไม่แตกต่างกัน โดยค่าในตารางที่ได้เป็นการบอกสัดส่วนเมื่อเทียบกับน้ำหนักของจอคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจอภาพขนาด 15 หรือ 18 นิ้วก็จะมีสัดส่วนของวัสดุในจอคอมพิวเตอร์ใกล้เคียงกัน ผู้เขียนให้ความสนใจกับตัวเลขของจอภาพแบบCRT เพราะเป็นจอรุ่นเก่าที่ถูกจอแบบบางหรือที่เรียกว่า LCD มาแทนที่ในปัจจุบัน ทำให้จอภาพประเภทนี้จึงถูกนำไปทิ้งเป็นขยะมากที่สุดในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 สัดส่วนที่สามารถรีไซเคิลของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง (ข้อมูลจาก ECS Refining, แคลลิฟอเนีย สหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2006)

วัสดุ	สัดส่วนของน้ำหนัก
โลหะ	44%
อลูมิเนียม	9%
พลาสติก	31%
แก้ว	4%
สายทองแดง	9%
บอร์ดวงจร	3%
- ทองแดงในส่วนของบอร์ด	(18-25%)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของชิ้นส่วนจอคอมพิวเตอร์ขนาด 14 นิ้ว

ชิ้นส่วน	วัสดุ	น้ำหนัก	สัดส่วน(%)
ตัวถังของจอ	พลาสติก	2.032	17.38
ส่วนป้องกันจอระเบิด	เหล็ก	0.213	1.82
ตัวหลอดภาพ CRT		6.227	53.27
- กรอบ	เหล็ก	0.455	3.89
- กระจก	กระจก	5.087	43.52
-กระบอกยิงแสง	เหล็ก, กระจก, ทองแดง, พลาสติก	0.096	0.82
-แกนแข็ง	ทองแดง, พลาสติก ,เหล็ก	0.589	5.04
แกนจอ	เหล็ก	0.542	4.64
บอร์ดวงจร	ไอซี, เรซิน, ทองแดงและเหล็ก	1.676	14.34
สายไฟ	ทองแดงและพลาสติก	0.661	5.65
ส่วนยาง	ยาง	0.048	0.41
ส่วนของพลาสติก	พลาสติก	0.291	2.49
รวม		11.690	1000.00

จากตารางที่ 1 พบว่าส่วนประกอบของจอ คอมพิวเตอร์มีวัสดุที่เป็นโลหะหนักและสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการกำจัดอย่างถูกวิธี ขยะเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เหล่านี้มีจำนวนที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกปี สำหรับประเทศไทยก็ยังไม่มีกฎระเบียบหรือแนวปฏิบัติในการจัดการกับขยะเหล่านี้อย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเพราะคนส่วนใหญ่มักเข้าใจว่าขยะ

เหล่านี้ไม่มีคุณค่าและต้องมีค่าใช้จ่ายสูงหากมีการดำเนินการรีไซเคิล

เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในเชิงของการคุ้มทุน ดังนั้นผู้เขียนจึงให้ความสนใจเกี่ยวกับต้นทุนของการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ และพบข้อมูลที่น่าสนใจจาก 2 แหล่งคือ 1) ต้นทุนการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ในแต่ละส่วนรวมถึงแยกประเภทของคอมพิวเตอร์ออกเป็นแบบพกพาและตั้งโต๊ะ จากประเทศไต้หวัน เนื่องจากเป็นประเทศที่มีการออกแบบและผลิตคอมพิวเตอร์ครบวงจร 2) ต้นทุนของการนำคอมพิวเตอร์มาตกแต่งใหม่ (refurbished) โดยมีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ $105 ดอลล่าร์ต่อเครื่องในประเทศสหรัฐอเมริกา

จากข้อมูลขององค์กรปกป้องสิ่งแวดล้อมของไต้หวันพบว่าต้นทุนของการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์และค่าใช้จ่ายสำหรับที่เก็บขยะคอมพิวเตอร์แต่ละประเภทในช่วงปี ค.ศ. 1998 เป็นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท แหล่งข้อมูลจาก EPA ของประเทศไต้หวัน

ประเภทคอมพิวเตอร์	ราคา (US$)	
	ต้นทุนการรีไซเคิล	ต้นทุนของที่เก็บ
คอมพิวเตอร์พกพา	6.00	0.9
คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	8.72	5.8
บอร์ด (main board)	2.00	1.1
ฮาร์ดดิสก์	2.00	1.6
แหล่งจ่ายไฟ	0.36	0.4
Case	0.36	0.5
จอคอมพิวเตอร์	4.00	2.2

จากตารางที่ 3 พบว่าต้นทุนของการรีไซเคิลที่นับรวมค่าใช้จ่ายสำหรับเช่าสถานที่ที่เก็บขยะคอมพิวเตอร์ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับราคาของคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะมีราคาอยู่ที่ประมาณ $860 ในขณะที่คอมพิวเตอร์พกพาในปัจจุบันราคาไม่แตกต่างกับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ ทำให้คิดเป็นสัดส่วนของต้นทุนการรีไซเคิลโดยประมาณของคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะอยู่ที่ 1.7% ในขณะที่คอมพิวเตอร์พกพาอยู่ที่ประมาณ 0.8% เท่านั้น [6]

3. กระบวนการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

นอกจากการประมาณการต้นทุนโดยประมาณของการทำรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและแบบพกพาแล้วยังต้องคำนึงถึงกระบวนการจัดการโลจิสติกส์ในทิศทางย้อนกลับคือการนำเอาคอมพิวเตอร์ที่ไม่ใช้แล้วจากผู้ใช้กลับสู่โรงงาน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากภาระของการขนส่งย้อนกลับนี้ด้วย ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าภาระของค่าใช้จ่ายในการขนส่งจะเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าต้นทุนของการรีไซเคิล ดังนั้นจึงทำการศึกษาค้นคว้าต้นทุนของการขนส่งรวมถึงการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อหาแนวทางลดค่าขนส่งลง

3.1 วิเคราะห์ในมุมมองทางเศรษฐศาสตร์

กระบวนการของห่วงโซ่ย้อนกลับเกี่ยวข้องกับโครงข่ายของการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) การรีไซเคิล (Recycle) และการทำลาย (Dispose) ซึ่งกระบวนการย้อนกลับของห่วงโซ่อุปทานในปัจจุบันมีความสำคัญและมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากตัวเลขของการส่งออกขยะอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศพัฒนาแล้วไปยังประเทศกำลังพัฒนาดังที่รายงานไว้ใน [7,8] มีสหรัฐอเมริกาจำนวน 15 พันล้านดอลล่าร์ คิดเป็น 1.5% ของสินค้าส่งออก ในปี 2005 สำหรับประเทศญี่ปุ่นมีจำนวนสูงถึง 5.7 ล้านตันในปี 2003 บทความวิจัยหลายบทความ[6,8,11,19,25] กล่าวถึงผลกระทบของโลหะหนักที่มีอยู่ในส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นพิษและอาจส่งผลต่อทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะระดับทางเศรษฐศาสตร์ของห่วงโซ่อุปทานย้อนกลับ

เมื่อพิจารณาตลาดของการนำกลับมาใช้อีกในสหรัฐอเมริกามีอยู่ประมาณ 5.5 ล้านเครื่องในปี ค.ศ. 1997 ในขณะที่ยอดขายคอมพิวเตอร์ภายในประเทศของสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1998 อยู่ที่ 30.3 ล้านเครื่อง โดยที่เป็นเครื่องที่เก่ามือสองอยู่ประมาณ 5 ล้านเครื่อง คิดเป็น 18% ของยอดขายทั้งหมด ซึ่งนับได้ว่าเป็นการนำคอมพิวเตอร์เก่ากลับมาใช้ใหม่หลังจากที่อาจจะมีการปรับปรุงทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และโปรแกรมบนเครื่อง หรือเปลี่ยนแปลงรูปลักษณ์ภายนอกใหม่ก่อนที่จะนำกลับมาขายอีกครั้ง (reuse) ทำให้ช่วยชะลอปริมาณขยะคอมพิวเตอร์

นอกจากนี้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศยังได้รับความนิยมในการประกาศขายบนเว็ปไซต์ e-Bay ซึ่งเป็นแหล่งตลาดขายสินค้ามือสอง บนเว็ปไซต์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในต่างประเทศ พบว่ายอดขายบน e-Bay 46% เป็นสินค้ามือสอง ในขณะที่ 14% เป็นสินค้าใช้แล้วที่นำกลับมาตกแต่งให้ดูใหม่เช่นลงโปรแกรมใหม่ หรือการปรับเพิ่มหน่วยความจำ (RAM) ให้เครื่องมีความเร็วสูงขึ้น เป็นต้น และสุดท้ายเป็นการซื้อของใหม่ที่ 40% [9] ขณะที่ในประเทศญี่ปุ่นมีตัวเลขของการเพิ่มขึ้นของการซื้อคอมพิวเตอร์มือสองเพิ่มถึง 18% ในปี 2002 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น[10]

ทั้งนี้ตลาดของคอมพิวเตอร์มือสองยังคงเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง การที่จะประเมินระดับทางเศรษฐศาสตร์ของตลาดรีไซเคิลคอมพิวเตอร์จะขึ้นกับต้นทุนของการรีไซเคิลซึ่งพบว่าต้นทุนจะแปรผันกับสถานที่เช่นในประเทศญี่ปุ่นมีต้นทุนการรีไซเคิลจอคอมพิวเตอร์ที่ประมาณ US$50 แต่ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ต้นทุนการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ทั้งเครื่องอยู่ที่ US$10 และในหัวข้อที่ 2 ของบทความนี้ต้นทุนของการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ทั้งเครื่องของไต้หวันอยู่ที่ ประมาณ US$15 ดังนั้นระดับทางเศรษฐศาสตร์ของการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ในสวิตเซอร์แลนด์เป็นมูลค่า300 ล้านดอลล่าร์สำหรับคอมพิวเตอร์ 30 ล้านเครื่อง ซึ่งหากราคาเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์อยู่ที่เครื่องละ $860 ตลาดคอมพิวเตอร์จะมีมูลค่า 25.8 พันล้านดอลล่าร์ ดังนั้นมูลค่าของการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์คิดเป็น 1.16 % ของมูลค่าตลาดซื้อขายคอมพิวเตอร์ใหม่

เมื่อดูจากมูลค่าของการรีไซเคิลแล้วพบว่านี่อาจจะเป็นช่องทางของการสร้างรายได้ให้กับประเทศที่กำลังพัฒนา รวมถึงการก่อให้เกิดการสร้างงาน เมื่อพิจารณาจากประเทศอินเดีย [11] ที่มีตัวเลขคอมพิวเตอร์ที่มีการซื้อขายในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณปีละ 600 ล้านเครื่อง คิดเป็น25% ที่จะกลายเป็นขยะคอมพิวเตอร์ ดังนั้นคอมพิวเตอร์ประมาณ 150 ล้านเครื่องจะเป็นขยะคอมพิวเตอร์ในแต่ละปี สามารถสร้างงานให้กับประชาชนถึง 100,000 คนและมีรายได้อยู่ที่ 7.5 พันล้านดอลล่าร์ สำหรับอุตสาหกรรมของการปรับปรุงคอมพิวเตอร์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ แต่ทั้งนี้จะต้องมีกระบวนการควบคุมความปลอดภัยเพื่อไม่ให้ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมของประเทศ

3.2 การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อนำคอมพิวเตอร์ที่ไม่ใช่แล้วกลับไปยังผู้ผลิตหรือผู้ดำเนินการรีไซเคิล โลจิสติกส์ย้อนกลับไม่ใช่เป็นเรื่องใหม่ และสามารถถูกนับรวมเข้ากับระบบห่วงโซ่อุปทาน เมื่อทำการจัดกลุ่มบทความที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มต่างๆดังนี้

- กลุ่มที่กล่าวถึงรูปแบบ แนวความคิดและกรอบโครงสร้างของโลจิสติกส์ย้อนกลับ นักวิจัยได้อธิบายและวิเคราะห์โครงสร้างของโลจิสติกส์ย้อนกลับมุมมองของแต่ละคน เช่น ของ Giuntini และ Andel (1995)[12] และToby Gooley (1998)[13] นอกจากการอธิบายโครงสร้างของโลจิสติกส์ย้อนกลับยังเสนอแนะปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างโครงสร้างของโลจิสติกส์ย้อนกลับอีกด้วย

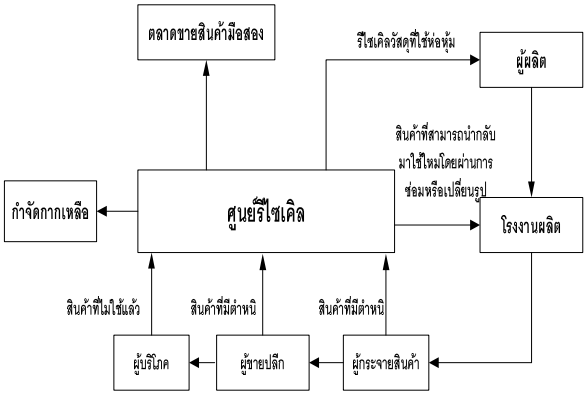
- กลุ่มที่กล่าวถึงการวิเคราะห์โมเดลเชิงปริมาณ[14,15,16] เช่น การลดขั้นตอนการดำเนินงาน การกระจายที่เก็บ การวางแผนการผลิต และการเสนอโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการรีไซเคิลโลหะเป็นต้น

- กลุ่มที่กล่าวถึงขั้นตอนของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับตั้งแต่การเก็บรวบรวม การแบ่งชนิดของวัสดุ การขนส่ง การกระจายสินค้าและคลังเก็บ นอกจากนี้ยังนำเสนอรูปแบบของโลจิสติกส์ย้อนกลับว่าสามารถกระทำได้ 3 รูปแบบ คือบนโครงสร้างของโลจิสติกส์เดิม แยกโลจิสติกส์ย้อนกลับออกจากโครงสร้างโลจิสติกส์เดิมและการผสมผสานทั้งโลจิสติกส์เดิมเข้ากับย้อนกลับ[17,18]

- กลุ่มที่กล่าวถึงการวิเคราะห์ปัจจัยหลากหลายที่มีผลต่อโมเดลการตัดสินใจสำหรับการจัดการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยมุ่งเน้นถึงความแตกต่างของแต่ละภูมิภาคที่จะมีปัจจัยที่แตกต่างกันออกไป[19] ปัจจัยที่จะต้องคำนึง ได้แก่ กลยุทธ์ของรัฐบาล สภาพภูมิประเทศ เงื่อนไขทางเศรษฐกิจ โครงสร้างพื้นฐานของประเทศ เงื่อนไขทางเทคนิค และพฤติกรรมของผู้บริโภค

- กลุ่มที่กล่าวถึงตัวอย่างของการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ เช่น ใน BMW, DuPont, General Motors, Hewlett-Packard เป็นต้น[20]

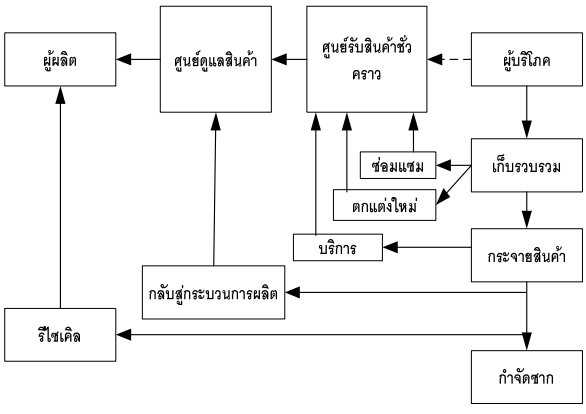
นอกจากนี้ในงานวิจัย[24] ได้สรุปความเชื่อมโยงทางธุรกิจของการทำรีไซเคิลไว้น่าสนใจดังรูปที่ 1 ทำให้ทราบเส้นทางธุรกิจที่สามารถเกิดขึ้นได้ของการรีไซเคิลที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน พบว่านอกจากสินค้าหมดอายุการใช้งานจะถูกนำกลับสู่ศูนย์รีไซเคิล ยังสามารถมีสินค้าบางประเภทที่ไม่ผ่านการตรวจสอบของโรงงานก็สามารถถูกส่งกลับมายังหน่วยรีไซเคิลได้ ไม่ว่าจะเกิดจากการผลิตหรืออาจจะพบความเสียหายหลังจากที่ผู้บริโภคนำกลับมาแลกคืนสินค้าที่ตัวแทนจำหน่ายหรือผู้ขาย โดยสินค้าที่ได้คืนมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) สินค้าที่ยังคงสามารถใช้งานได้จะถูกนำมาปรับแต่งใหม่เพื่อส่งเข้าสู่ตลาดมือสองในประเทศไทยมีเว็บไซต์ขายคอมพิวเตอร์มือสองที่นิยมคือ http://www.usedcomthai.com/ 2) สินค้าที่ไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลได้ก็จะถูกนำไปทำลาย 3) สินค้าที่สามารถเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลได้ โดยสิ่งที่ได้จากการรีไซเคิลจะถูกส่งกลับเข้าสู่ห่วงโซ่ผ่านทางผู้ค้าส่งหรือส่งตรงเข้าไปยังโรงงานผลิตก็ได้



รูปที่ 1 การเชื่อมโยงทางธุรกิจของศูนย์รีไซเคิล[24]

4. เศรษฐศาสตร์ของโลจิสติกส์ย้อนกลับ

4.1 การลดระยะทาง



รูปที่ 2 รูปแบบการทำงานของกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับ สำหรับคอมพิวเตอร์[22]

เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งในงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการลดระยะทางของการขนส่งหรือการตั้งจุดรับขยะ

คอมพิวเตอร์จึงกลายเป็นประเด็นหนึ่งที่มีการนำเสนอกันในบทความ [21,22] โดยโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จะเป็นอัลกอริทึมการแก้ปัญหา optimization ก่อนที่จะสามารถทำการหาจุดที่ดีและสั้นที่สุดจำเป็นที่จะต้องทราบระบบของกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับของคอมพิวเตอร์ก่อน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2

เมื่อทราบการทำงานของระบบจะทำให้สามารถกำหนดตัวแปรต่าง ๆที่จำเป็นสำหรับที่จะใช้ในโมเดลจากบทความ[18] สามารถกำหนดโมเดลที่ใช้แก้โจทย์ของการจัดการระบบสำหรับจัดการขยะคอมพิวเตอร์รวมถึงปัญหาของความไม่แน่นอนของจุดรับขยะคอมพิวเตอร์และตัวแปรอื่น ๆที่สามารถเปลี่ยนไปได้ ฉะนั้นโมเดลที่นำเสนอนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมในอนาคต

4.2 การลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไร

อัตราการส่งคืน (return rate, *r*) ในกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับค่อนข้างจะเปลี่ยนแปลงมากทำให้ยากต่อการคาดการณ์ เช่น คาดการณ์ได้ยากกับสถานที่ที่จะมีการส่งสินค้ากลับ ปริมาณหรือคุณภาพของการรีไซเคิล ทำให้ความไม่แน่นอนเกิดขึ้นในห่วงโซ่ย้อนกลับของการรีไซเคิล ดังนั้นจึงไม่สามารถคาดการณ์อัตราการส่งคืนได้อย่างแม่นยำ ในบทความ[23]ได้กล่าวสรุปถึงโมเดลฟังก์ชันการหาผลกำไรได้ดังสมการที่ 1

$$L=D(p)[p-r(p+A-qp)] \quad \text{..... สมการที่ 1}$$

โดยที่ให้ L คือผลกำไร, D(p) คืออุปสงค์สำหรับสินค้าใหม่ในรูปฟังก์ชันของราคาสินค้า, p คือราคาสินค้า, *r* คืออัตราการส่งคืนซึ่งควรจะอยู่ในช่วง $0 < r < 1$, A คือหน่วยราคาของการส่งคืนสินค้า, q คือ อัตราการทำให้กลับมาใช้อีกควรมีค่าอยู่ระหว่าง $0 < q < 1$ จากสมการที่ 1 ถ้าหากค่าของ q อยู่ในช่วง $0 < q < 1$ ดังนั้น p+A-qp จะมีค่ามากกว่า 0 ดังนั้นจะสามารถสรุปได้ว่า 1) ผลกำไรของโรงงานจะลดลงเมื่อมีอัตราการส่งคืน (*r*) เพิ่มสูงขึ้น 2) แต่ขณะเดียวกันก็พบว่าเมื่อต้องการให้ผลกำไรของโรงงานเพิ่มขึ้นจะต้องเพิ่มอัตราการทำให้กลับมาใช้ได้อีก (q) เพิ่มขึ้น

พบว่าจากสมการของผลกำไรแบบดั้งเดิมจะไม่ได้กล่าวถึงปัจจัยที่เข้ามามีผลต่ออัตราการส่งคืน (*r*) นอกจากนี้ยังไม่ได้สะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการส่งคืนกับอัตราการนำกลับมาใช้ได้อีก (q) ทั้งที่จริงแล้ว *r* และ q มีความสัมพันธ์กันอย่างมากกล่าวคือถ้าต้องการให้มีผลกำไรดังนั้นเมื่อมีอัตราการนำกลับมาใช้ได้มากรวมถึงอัตราการส่งคืนก็มากก็จะส่งผลให้มีผลกำไรเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันการส่งคืนสินค้าก็ก่อให้เกิดรายจ่ายเช่นกัน ซึ่งสมการยังไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงต้นทุนเฉพาะของโลจิสติกส์ย้อนกลับอาจจะเกิดได้จากต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนที่เก็บสินค้าที่ถูกส่งคืน ต้นทุนของการวางแผนในการกำหนดจุดรับคืน เป็นต้น ทั้งนี้ต้นทุนในส่วนของโลจิสติกส์ย้อนกลับสามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการใช้ทฤษฎีของการลดรูป (optimization) เพื่อแก้ปัญหานี้ได้

5. การรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

จากการค้นหาข้อมูลจากเอกสารประชุมทางวิชาการพบว่ามีบทความหลายชิ้นที่นำเสนอการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ เช่น ในประเทศไต้หวันได้บังคับโรงงานผลิตหรือธุรกิจที่นำเข้าว่าจะต้องมีการเรียกคืนคอมพิวเตอร์ที่ขายไปเมื่อผู้ใช้ไม่มีการใช้งานแล้ว นำกลับมารีไซเคิลหรือกำจัดทิ้ง ดังนั้นทางผู้ผลิตหรือผู้นำเข้ามาจำหน่ายจึงมีการกำหนดจุดรับคืนสินค้าและเพิ่มแรงจูงใจโดยการให้เงินรางวัลเมื่อมีการคืนสินค้า ทั้งนี้ก็เนื่องจากประเทศไต้หวันมีโครงสร้างของการผลิตคอมพิวเตอร์ตั้งแต่การออกแบบ การผลิตชิ้นส่วน วงจรไฟฟ้า และการประกอบเครื่อง ดังนั้นจึงเป็นการเติมเต็มโครงสร้างของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์อย่างครบวงจร

ซึ่งสอดคล้องกับบทความ [25] ที่กล่าวสรุปโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ไว้ว่าบริษัทยักษ์ใหญ่เช่น IBM, DELL, APPLE และอื่น ๆควรจะต้องเป็นผู้นำในการดำเนินการส่วนของโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อให้คอมพิวเตอร์ที่ไม่ใช้แล้วถูกนำกลับมาเข้ากระบวนการรีไซเคิล (recycle), นำกลับมาใช้ (reuse) เพื่อให้วัสดุดิบกลับเข้าสู่กระบวนการผลิต รวมถึงการนำกลับมาตกแต่งดัดแปลงใหม่ (refurbished) เพื่อนำสินค้าเข้าสู่ตลาดมือสองที่กำลังเติบโตในปัจจุบัน และสุดท้ายนำกลับมาเข้าสู่กระบวนการทำลายอย่างถูกวิธี (dispose)

สำหรับประเทศไทยที่มีการส่งเสริมอุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ประเทศไทยอยู่ในกลุ่มประเทศ 1 ใน 8 ของโลกที่มีการผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ส่งออกมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ประเทศไทยควรจะต้องมีอุตสาหกรรมของการรีไซเคิล รวมถึงการวางแผนโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อให้สินค้าได้ถูกส่งคืนมายังโรงงานผลิตที่อยู่ในประเทศ โดยประเด็นของงานวิจัยที่สามารถเกิดขึ้นตามมาได้แก่ ประเมินการวางจุดรับคืนสินค้า การลดต้นทุนในกระบวนการรีไซเคิล การวางแผนระบบโลจิสติกส์ทั้งแบบไปข้างหน้าและย้อนกลับ หรือการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้เขียนให้ความสนใจและจะดำเนินต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Council of Logistics Management (CLM). What it's all about. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 1998.pp. 4–6.

[2] Rogers DS, Tibben-Lembke RS., Going backwards: reverse logistics trends and practices. *The University of Nevada, Reno*, Center for Logistics Management, Reverse Logistics Council,1998.

[3] 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, vol. 103, pp. 1-17, 1997.

[4] Stock, J. R., "Development and Implementation of Reverse Logistics Programs", *Council of Logistics Management*, 1998.

[5] http://www.arip.co.th/search.php?q=%B7%B4%C5%CD%A7&mypage=6

[6] C.H. Lee et al., "Management of scrap computer recycling in Taiwan", *Journal of Hazardous Materials*, 2000, pp. 209–220.

[7] U.S. International Trade Commission. USITC Interactive Tariff and Trade DataWeb Version 2.8.4, 2007. http://dataweb.usitc.gov/ (accessed Aug. 23, 2007)

[8] Terazono, A.; Yoshida, A.; Yang, Y.; Moriguchi, Y.; Sakai, S., Material cycles in Asia: especially the recycling loop between Japan and China., *Journal of Material Cycles Waste Management*. 2004, vol. 6, 82-96.

[9] U.S. International Trade Commission. USITC Interactive Tariff and Trade DataWeb Version 2.8.4, 2007. http://dataweb.usitc.gov/ (accessed Aug. 23, 2007)

[10] My-Com PC Web. 2001 market for used computers at 830,000 units (in Japanese), August 22, 2002, http://pcweb.mycom.co.jp/news/2002/08/22/23.html

[11] Jain, A. E-waste Management in India (Current Status and Needs),Presentation given at the Creation of Optimum Knowledge Bank for Efficient e-Waste Management in India, N. Delhi, India, 8th May

[12] Giuntini Ron, Andel Thomas J. Reverse Logistics Role Models, *Journal of Integrated Warehousing & Distribution*, 1995, 36(4).

[13] Gooley, T. B. The who, what and where of reverse logistics, *Journal of Logistics Management*, 2003, 42(2):38-41.

[14] Kroon, Leo, Vrijens, Gaby. Returnable containers: An example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics*, 1995, 25(2):56-68.

[15] Moritz Fleischmann, Jacqueline M. Bloemhof-Ruwaard, Rommert Dekker, et. al, Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*: vol. 103, 1997:pp.1-17.

[16] Manbir S.Sodhi, Bryan Reimer. Models for recycling electronic end-of-life products, *Journal OR Specktrum*, pp.97-115, 2001.

[17] A.I.Barros, R.Dekker, V.Scholten. A two-level network for recycling sand: A case study. *European Journal of Operational Research*, 1998, vol.110, pp.199-214.

[18] Young, J. Reverse logistics: What goes around comes around. APICS-The Performance Advantage, 1995, p.75.

[19] MOU Peng, PAN Xiaoyong, XIANG Dong, DUAN Guanghong, Regional E-waste Reverse Logistics System based on PCB Recycling Unit, *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and Environment*, 8-11 May 2006, pp.346-350.

[20] Dowlatshahi, Shad. Developing a Theory of Reverse Logistics., *Journal of Interface*, 2000, vol.30(3), pp.143-155.

[21] Barros AI, Dekker R, Scholten V., "A two-level network for recycling sand: a case study", *European Journal of Operational Research*, (110), 1998, pp.199-214.

[22] Wang Zhaohua　Yin Jianhua　, Modeling for Facility Location Optimization of Spent Computers' Reverse Logistics, *4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, 12-14 Oct.,2008, pp1-4.

[23] Xinyi Bu and Shunlei Xu, "The profit model in reverse logistics under the different environment factors", 2008, pp.1215-1220.

[24] Chenghua Shi, et.al., "Study on reverse logistics based on supply chain management", *Processing in Asia-Pacific Conference on Information*, 2009, pp.495-498.

[25] K. K. Dhanda, and A. A. Peters, "Reverse logistic in the computer industry", *International Journal of Computers, Systems and Signals,* Vol. 6, No. 2, 2005, pp.57-67.