

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการรีไซเคิล ของอุตสาหกรรมขวดแก้ว
กรณีศึกษาบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด

จินต์ พันธุ์ชัยโย, ญัฐกรย์ วงศ์ทองเหลือ, นราทิพย์ ณ ระนอง,

พสุพร สมบูรณ์ธนาสาร, อริศรา พรหมิงมาศ,

บัณฑิตคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ดร.รุธิร์ พนมยงค์

รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาการบริหารธุรกิจระหว่างประเทศ โลกทัศน์และการขนส่ง

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการรีไซเคิล ของอุตสาหกรรมขวดแก้ว กรณีศึกษา บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด

ABSTRACT

The purpose of this paper is to identify a methodology that is able to measure carbon emission footprint during a recycling process. There are two key stages in the recycling process: (1) the transport of materials to be recycled and (2) the recycling process per se. Measurement of the transportation carbon footprint can be assessed based on fuel type and the Fuel CO₂ Conversion Factors developed by Defra in the United Kingdom. The measurement of the recycling process is based upon the target recycling activity electricity consumption. Electricity consumption during the recycling process is then converted into carbon footprint measurement. A glass manufacturer in Thailand, namely Bangkok Glass, was used as an illustrative case study. It was discovered that carbon emission for the recycling process was over 3,000 times higher than for the transportation activity.

Keywords: Recycle, Carbon Footprint, Emission Measurement

บทคัดย่อ

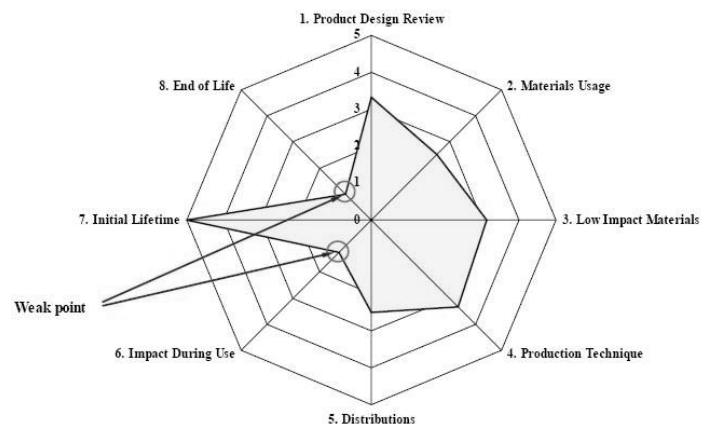
งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการคำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการรีไซเคิล โดยใช้ภาคอุตสาหกรรมขวดแก้วของประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา ซึ่งมีหลักการคำนวณจาก Carbon Footprint โดยแบ่งเป็น 2 กิจกรรมคือ กิจกรรมการขนส่งและกิจกรรมรีไซเคิล โดยกิจกรรมการขนส่งจะวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถบรรทุกโดยแบ่งตามประเภทของน้ำมันที่ใช้คูณกับตัวคูณประเภท Fuel CO₂ Conversion Factors และกิจกรรมรีไซเคิลวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในส่วนของโรงงานรีไซเคิลคูณกับค่าสัมประสิทธิ์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย โดยนำแนวทางการคำนวณมาประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว โดยใช้ บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด เป็นกรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่ากิจกรรมรีไซเคิลมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่ากิจกรรมด้านขนส่งมากกว่า 3,000 เท่า

บทนำ

ปัญหาโลกร้อนได้ทวีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อโลกอย่างเห็นได้ชัดมากขึ้น โดยสาเหตุหลักของการเกิดสภาวะเรือนกระจกคือ ปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีที่มาจากการเผาไหม้ในรูปแบบต่างๆ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดการรวมลงนามใน “พิธีสารเกียวโต” ซึ่งเป็นบันทึกข้อตกลงระหว่างประเทศฉบับเดียวของโลกที่มีเป้าหมายผูกพันคือการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับประเทศไทยได้ลงนามและให้สัตยาบันในพิธีสารเกียวโตแล้ว และได้ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Non-Annex I คือ ไม่มีพันธกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่หลังจากปี 2555 หากประเทศไทยยังคงปล่อยก๊าซในปริมาณมากอยู่ อาจจะต้องถูกบังคับให้ลดการปล่อยก๊าซลง นอกจากนี้ในหลายประเทศยังมีโครงการที่จะให้ผู้ผลิตสินค้าในประเทศทำฉลากคาร์บอน (Carbon Label) เพื่อแสดงระดับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์อีกด้วย จากความตื่นตัวต่อภาวะโลกร้อนที่กำลังทวีความรุนแรงขึ้น ทำให้งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการรีไซเคิลในภาคอุตสาหกรรมการผลิตแก้วของประเทศไทย โดยสาเหตุที่เลือกศึกษาในอุตสาหกรรมดังกล่าว เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแก้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 100% โดยเฉพาะแก้วที่แตกแล้วยังสามารถนำกลับมาเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้วใบใหม่ได้ ทั้งนี้ในกระบวนการนำแก้วไปหลอมใหม่แต่ละครั้งต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก โดยที่เตาหลอมจะใช้พลังงานกว่า 75% ของพลังงานรวม (ที่มา : สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม) ซึ่งเป็นการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิลและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก นอกจากนี้การนำแก้วกลับมารีไซเคิลในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีการใช้พลังงานในกระบวนการขั้นตอนต่างๆ มากตามไปด้วย แม้ว่าในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายหรือข้อบังคับที่เกี่ยวกับการจำกัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงงานอุตสาหกรรมอย่างชัดเจน แต่จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้นทุกปีจะเห็นได้ว่าทุกฝ่ายควรร่วมกันพิจารณาและวางแผนการบริหารงานในส่วนของบริษัทโลจิสติกส์ย้อนกลับให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อให้การนำแก้วกลับมารีไซเคิลนั้นเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

1. โลจิสติกส์ย้อนกลับ

กิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นการนำของเสียกลับเข้ามาในโซ่อุปทาน ซึ่งของเสียเหล่านั้นอาจจะเป็นสินค้าที่หมดอายุการใช้งานและสามารถนำกลับมารีไซเคิลหรือเป็นสินค้าที่นำมาปรับเปลี่ยนเล็กน้อยก็สามารถนำกลับไปใช้งานได้ดังเดิม จึงอาจกล่าวได้ว่าระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นระบบที่ช่วยรักษาสິงแวดล้อม แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นเป็นสินค้าที่หมดอายุการใช้งานแล้ว (End of Life Product) ซึ่งจากเอกสารทางวิชาการของธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ (2008) พบว่าผลิตภัณฑ์ในช่วง End of Life เป็นช่วงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงอื่น ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 1 จึงทำให้การวัดผลกระทบที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นเรื่องที่น่าสนใจ



ภาพที่ 1: แสดงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์

ที่มา: รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สวทช.

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยมีเพียงงานวิจัยของ Dimitrios A. Georgakellos (2006) ที่วัดปริมาณของเสียที่ปล่อยออกสู่อากาศ การใช้น้ำ การใช้พลังงาน และการเพิ่มปริมาณขยะในระบบโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมขวดแก้วในทุกๆ ช่วงอายุของผลิตภัณฑ์เท่านั้น และจากงานวิจัยของ Pilar L. Gonzalez-

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการรีไซเคิล ของอุตสาหกรรมขวดแก้ว
กรณีศึกษาบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด

Torre and Belarmino Adenso-Diaz (2006) พบว่าการทำให้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะต้องมีการวัดผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมของระบบโลจิสติกส์ได้ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเสนอวิธีการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการผลิตและการขนส่งในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะเรือนกระจกและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยเพียงใด

2. วรรณกรรมปริทัศน์

มีผู้ให้คำนิยามโลจิสติกส์ย้อนกลับไว้มากมาย เช่น กระบวนการของการวางแผน จัดเตรียม และควบคุมระบบการไหลเวียนของสินค้าให้มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพจากแหล่งผู้บริโภคกลับมายังแหล่งผลิตสินค้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่, สร้างมูลค่ามากขึ้น หรือนำมาทำลาย (Rogers and Tibben-Lembke, 2001) ในปัจจุบัน ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นเรื่องที่ทุกองค์กรต่างกำลังให้ความสนใจ ทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ สามารถแบ่งกลุ่มงานวิจัยได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ งานวิจัยเกี่ยวกับการอธิบายระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เช่น งานวิจัยของ A. Tan, Wei Shin Yu & K. Arun (2002), Dr. Liz Breen (2006), Radoslav Skapa (2005) งานวิจัยที่นำเครื่องมือทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น เช่น งานวิจัยของ Shih (2001); Tiravat Pantanat and Heng Yao (2006); Ahluwalia and K.Nema (2006); I-Lin

and Wen-Cheng (2007) ฯลฯ และงานวิจัยที่มีการนำทฤษฎีใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เช่น งานวิจัยของ A. Michael Knemeyer, Thomas G. Ponzurick, Cyril M. Logar (2002) Banomyong R & Veerakachen V & Supatn (2004)

โลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นหัวข้อที่นักวิจัยและผู้ประกอบการกำลังให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถช่วยให้บริษัทเพิ่มประสิทธิภาพการบริการลูกค้า เพิ่มความสามารถในการควบคุมสินค้าคงคลัง ลดต้นทุน สร้างผลกำไรมากขึ้น และเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร (Daugherty et al., 2001) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับโดยเฉพาะนั้นยังมีผู้ศึกษาอยู่เพียงไม่กี่รายเท่านั้น เช่น (Veerakachen V., 2006) Aurty et al. (2001) ได้สำรวจความสัมพันธ์ระหว่างอุตสาหกรรม, ขนาดของบริษัทหรือปริมาณการขาย, และ Internal or external assignment of responsibility for disposition and performance of reverse logistics โดยได้กำหนดการวัดประสิทธิภาพออกเป็น 6 ตัว ได้แก่ Environmental Regulatory Compliance, Improved Customer Relations, Recovery of Assets, Cost Container, Improved Profitability, and Reduced Inventory Investment

Tibben-Lembke and Rogers (2002) ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนโลจิสติกส์และโลจิสติกส์ย้อนกลับว่ามีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ตารางเปรียบเทียบต้นทุนโลจิสติกส์และโลจิสติกส์ย้อนกลับ

Cost	Comparison with Forward Logistics
Transportation	Greater
Inventory holding cost	Lower
Shrinkage (theft)	Much lower
Obsolescence	May be higher
Collection	Much higher-less Standardized
Sorting, quality diagnosis	Much greater
Handling	Much higher
Refurbishment/packaging	Significant of RL, non-existent for forward logistics
Change from book value	Significant of RL, non-existent for forward logistics

ที่มา: Tibben-Lembke and Rogers (2002)

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าต้นทุนการขนส่งต่อหน่วย สำหรับกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับมีค่าสูงกว่า Forward Logistics เนื่องจากสินค้าที่ส่งย้อนกลับมานั้นมีปริมาณน้อย และมีมาตรฐานในการขนส่งที่ต่ำกว่า จึงทำให้ยากที่จะใช้ประโยชน์รถบรรทุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Veerakachen V., 2006) จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาการทำงานโดยรวมของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อพัฒนาให้การทำงานของระบบโลจิสติกส์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ขาดการศึกษาประเด็นผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

จากภาวะโลกร้อนส่งผลให้มีการรณรงค์การใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณน้อย งานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งศึกษาวิธีการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการผลิตสินค้า เช่น Nippon Meat Packer Inc. ได้คำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการผลิต เนื้อวัวที่ฟาร์มของบริษัทในออสเตรเลีย ยี่ห้อ Whyalla Feedlot ซึ่งขายภายใต้ภาพ Eco-Beef โดยคำนวณด้วยวิธี Life Cycle Assessment Method (LCA) พบว่า เนื้อวัว 1 กิโลกรัม ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Emission) จำนวนมากถึง 16.4 กรัม ในจำนวนนี้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงการเลี้ยงวัวถึง 13 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 79 ดังนั้นหากปรับวิธีการเลี้ยงสัตว์ก็จะสามารถตัดลดปริมาณการปล่อยก๊าซลงได้อย่างมาก (ที่มา : สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ กรุงโตเกียว, www.depthai.go.th) สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรม ขวดแก้ว Dimitrios A. Georgakellos (2006) ได้นำ Life Cycle Assessment มาใช้ในการพัฒนากลยุทธ์ในการรีไซเคิลขวดแก้วให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายการศึกษาเพื่อระบุและกำหนดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมรีไซเคิลขวดแก้ว ซึ่งคำนวณการปล่อยของเสียของขวดแก้วในทุกๆ ช่วงอายุของขวดแก้วตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต การขนส่งทั้งวัตถุดิบและสินค้า เมื่อผลิตเสร็จ การนำไปใช้งาน และการทำลายขวดแก้ว จากนั้นจึงนำมาคำนวณดูว่ากิจกรรมต่างๆ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ การใช้พลังงาน (Energy Consumption), ขยะ (Solid Waste), การใช้น้ำ (Water Consumption), มลพิษทางน้ำ (Waterborne Waste) และมลพิษทางอากาศ (Atmospheric Emissions)

งานวิจัยฉบับนี้จึงทำการศึกษาระบบรีไซเคิลว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร โดยพิจารณากิจกรรมการ

ขนส่งในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของอุตสาหกรรมขวดแก้ว และนำเครื่องมือ Carbon Footprint มาใช้ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมของมนุษย์หรือที่ปล่อยออกมาทั้งหมดจากกระบวนการผลิตสินค้าหรือบริการ (Wiedmann และ Minx, 2008) โดยสามารถคำนวณจากการใช้วิธีดูวงจรการผลิต (Life Cycle Assessment) หรือดูจากปริมาณก๊าซที่ปล่อยออกมาจากพลังงานเชื้อเพลิง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบรีไซเคิลของงานวิจัยฉบับนี้มีการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแต่ละกิจกรรมมารวมกัน (กิจกรรมการขนส่งและกิจกรรมรีไซเคิล) ดังนี้

$$\text{Total carbon dioxide} = \sum_{i=1}^n C_i$$

เมื่อ Total carbon dioxide = ปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการทั้งหมด (กิโลคาร์บอน/เดือน)

C_i = ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในกิจกรรม i (กิโลคาร์บอน/เดือน)

n = จำนวนกิจกรรมทั้งหมด

สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาในแต่ละกิจกรรม จะมีวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน โดยกิจกรรมด้านการขนส่งทั้ง Inbound & Outbound Logistics จะวัดจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยโดยตรงมาจากยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ส่วนในกิจกรรมรีไซเคิลจะวัดจากปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยแนวคิดการคำนวณนั้นมาจาก Carbon Footprint

• กิจกรรมการขนส่ง

โดยวัดจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากยานพาหนะ ซึ่งจะมีการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวคูณ (CO₂ Conversion) อ้างอิงจากหน่วยงานใน

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการรีไซเคิล ของอุตสาหกรรมขวดแก้ว กรณีศึกษาบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด

ประเทศอังกฤษ เรียกว่า Defra (The Department for Environment, Food and Rural Affairs) สำหรับตัวคูณ Fuel CO₂ Conversion Factors จะแปลงปริมาณน้ำมันเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะดูที่ประเภทของน้ำมันที่รถใช้และปริมาณที่ใช้ สำหรับงานวิจัยนี้ ประเภทน้ำมันที่ใช้คือ ดีเซลและมีหน่วยเป็นลิตร ซึ่งการใช้ตัวคูณประเภท Fuel CO₂ Conversion Factors มีข้อดีคือ การใช้ปริมาณน้ำมันเป็นหลักในการพิจารณาสามารถสะท้อนให้เห็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างชัดเจน กล่าวคือหากยานพาหนะที่ใช้มีเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ก็จะมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่ายานพาหนะขนาดเล็ก หรือหากมีการขนส่งในระยะทางไกลก็จะมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการขนส่งในระยะทางใกล้

จากการอ้างอิงตัวเลขจาก Defra พบว่าการใช้น้ำมันดีเซลของรถบรรทุก 1 ลิตร จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณ 2.630 กิโลคาร์บอน โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

วิธีคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกิจกรรมการขนส่ง

$$\text{ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล (ลิตร)} \times 2.630 = \dots \text{ กิโลคาร์บอน (kgCO}_2\text{)}$$

• กิจกรรมรีไซเคิล

กระบวนการรีไซเคิลในโรงงานจะต้องอาศัยเครื่องจักรในกระบวนการแปรรูปแก้วที่ใช้แล้ว เช่น การบด การหลอมเหลว เป็นต้น โดยมีการใช้พลังงานในรูปของไฟฟ้า ทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องจักรได้ โดยนำหน่วยการใช้ไฟฟ้า (หน่วย: กิโลวัตต์) มาคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย ซึ่งใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเท่ากับ 0.63 ซึ่งตัวเลขค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับประเทศไทยดังกล่าว คำนวณมาจากอัตราส่วนของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าในปี พ.ศ.2548 คือ 75,956,000,000 กิโลกรัม และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ 120,433 กิกะวัตต์ชั่วโมง (ที่มา: กรีนพีช เอเชียตะวันออกเฉียงใต้, สำนักงานประเทศไทย)

วิธีคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกิจกรรมการรีไซเคิล

$$\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)} \times 0.63 = \dots \text{ กิโลคาร์บอน (kgCO}_2\text{)}$$

4. กรณีศึกษา

บริษัทบางกอกกล๊าส จำกัด

บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วที่ทันสมัยที่สุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคเอเชีย มีกำลังการผลิตถึง 3,465 ตันต่อวัน หรือประมาณ 17,000,000 ขวดต่อวัน เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่ใช้บรรจุภัณฑ์แก้วทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นจึงมีกระบวนการรีไซเคิลขวดแก้วเพื่อนำกลับมาผลิตใหม่เป็นกิจกรรมหลักในการผลิตขวดแก้วในโรงงาน นอกจากนี้ บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด ยังมีบริษัทที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีไซเคิลและโลจิสติกส์ย้อนกลับในกรณีศึกษาอีก 2 บริษัท ได้แก่ บริษัท LSK ซึ่งเป็นผู้ส่งเศษแก้วให้กับบางกอกกล๊าส และบริษัท บุญรอดบริเวอรี่ จำกัด ผู้ผลิตเครื่องดื่มซึ่งเป็นลูกค้าของบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด ทั้งนี้ในการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือการขนส่งเศษแก้วจากบริษัท LSK จำกัด มาให้โรงงานรีไซเคิลของบางกอกกล๊าส (Inbound Logistics), กระบวนการรีไซเคิล และการขนส่งขวดแก้วไปโรงงานบุญรอดบริเวอรี่ (Outbound Logistics)

การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน กระบวนการรีไซเคิล

ในการคำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการรีไซเคิลของบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด ในแต่ละกิจกรรมแตกต่างกัน โดยในการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกิจกรรมรีไซเคิลของโรงงานนั้น จะต้องใช้วิธีการคำนวณจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในโรงงานรีไซเคิลซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อเดือน ในส่วนของการขนส่งนั้น มีการขนส่งเศษแก้วมาให้กับบางกอกกล๊าสทุกวัน วันละ 1 เที่ยวเท่านั้น ซึ่งในการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะคำนวณออกมาในหน่วยตัน/เที่ยว ซึ่งสามารถนำมาแปลงเป็น 1 เดือนได้ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงใช้หน่วยในการวิเคราะห์เป็น กิโลคาร์บอน/เดือน

สำหรับในด้านการขนส่งที่เก็บข้อมูลมาได้นั้นเป็นข้อมูลระยะทาง (หน่วย : กิโลเมตร) ทำให้ต้องแปลงค่าจากระยะทางมาเป็นอัตราการใช้น้ำมัน ซึ่งข้อมูลด้านระยะทางในส่วนของ Inbound Logistics นั้นการขนส่งจากบริษัท LSK ไปยังบริษัท บางกอกกล๊าส ซึ่งมีระยะทางจากตำบลระแหง (จังหวัดปทุมธานี) – ตำบลบึงยี่โถ (จังหวัดปทุมธานี) เป็นระยะทาง 41.1 กิโลเมตร ขณะที่ระยะทางในส่วนของ Outbound Logistics นั้นเป็นการขนส่งจากบริษัท บางกอกกล๊าส ไปยังบริษัท บุนนาคบริเวอรี่ ซึ่งมีระยะทางจากตำบลบึงยี่โถ - ถ. สามเสน (จังหวัดกรุงเทพฯ) เป็นระยะทาง 38.5 กิโลเมตร นอกจากนี้ในการขนส่งได้ใช้รถบรรทุก 2 แบบคือรถบรรทุก 18 ล้อสำหรับการขนส่งเศษแก้วไปยังโรงงานบางกอกกล๊าส และรถบรรทุก 10 ล้อ ขนส่งขวดแก้วไปยังโรงงานบุนนาคบริเวอรี่ ซึ่งรถทั้งสองมีอัตราการใช้น้ำมันสำหรับรถบรรทุกทุกเตเลอร์ตัมขนาด 18 ล้อ ใช้น้ำมัน 1 ลิตร : ระยะทาง 3 กิโลเมตร (ที่มา : บริษัท LSK) และสำหรับรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ ใช้น้ำมัน 1 ลิตร : ระยะทาง 3.2 กิโลเมตร (ที่มา : บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด)

ในส่วนของการคำนวณการใช้เชื้อเพลิง จะใช้การคำนวณจากหน่วยการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน ซึ่งการใช้ไฟฟ้าในโรงงานรีไซเคิลของบางกอกกล๊าส ในเดือนมกราคม 2552 มีข้อมูลดังนี้

มีการใช้ไฟ 12,191,200 หน่วย (ที่มา : บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด)

5. ผลการศึกษา

ในกระบวนการ Inbound Logistics ซึ่งใช้รถบรรทุกเตเลอร์ตัมขนาด 18 ล้อ (น้ำมันดีเซล) และ อัตราการใช้น้ำมัน 1 ลิตรต่อระยะทาง 3 กิโลเมตร ดังนั้นการใช้ น้ำมันดีเซล ในช่วง Inbound Logistics เท่ากับ 13.7 ลิตร ซึ่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 36.031 กิโลคาร์บอน (kgCO_2) ต่อการขนส่ง 1 เทียว ขณะที่กระบวนการ Outbound Logistics ซึ่งใช้รถบรรทุก 10 ล้อ (น้ำมันดีเซล) และอัตราการใช้น้ำมัน 1 ลิตรต่อระยะทาง 3.2 กิโลเมตร ดังนั้นการใช้ น้ำมันดีเซล ในช่วง Outbound Logistics เท่ากับ 12.03 ลิตร ซึ่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 31.639 กิโลคาร์บอนต่อการขนส่ง 1 เทียว และสุดท้ายในส่วนของการรีไซเคิล เมื่อนำหน่วยการใช้ไฟฟ้า (KW) มาคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทยคือ 0.63 จะได้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมการรีไซเคิลเท่ากับ 7,680,456 กิโลคาร์บอน (kgCO_2) ต่อเดือน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2: แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละกิจกรรม

กิจกรรม	ปริมาณ CO_2 ต่อเที่ยวการขนส่ง (สำหรับกิจกรรมขนส่ง)	ปริมาณ CO_2 ต่อเดือน (kg CO_2)
Inbound Logistics	36.031	1080.93
Recycle	-	7,680,456
Outbound Logistics	31.639	949.17
Total		7,682,486.1

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าในหนึ่งเดือน บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 7,682,486.1 กิโลคาร์บอน โดยกิจกรรมรีไซเคิลนั้นมีการปล่อยก๊าซมากกว่ากิจกรรมด้านขนส่งมากกว่า 3,000 เท่า เนื่องจากกิจกรรมรีไซเคิลนั้นมีกระบวนการที่ซับซ้อนและมีหลายขั้นตอนมาก ซึ่งมีการใช้เครื่องจักรที่ต้องใช้พลังงานความร้อนอย่างมาก อีกทั้งต้องใช้

เครื่องจักรอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งวันทำให้มีการใช้ไฟฟ้ามากตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาในด้านขนส่งพบว่าในช่วง Inbound Logistics มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า Outbound Logistics เนื่องจากในช่วง Inbound Logistics มีระยะทางการขนส่งที่ไกลกว่า และมีการใช้รถขนาดใหญ่กว่าเพราะต้องขนส่งเศษแก้วในปริมาณที่มาก แต่ในช่วง Outbound Logistics นั้นจะมีระยะ

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการรีไซเคิล ของอุตสาหกรรมขวดแก้ว

กรณีศึกษาบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด

ในการขนส่งใกล้กว่า และใช้รถขนส่งที่ขนาดเล็กกว่า ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาใน 2 กิจกรรมแตกต่างกัน

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการสำหรับวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการรีไซเคิลของอุตสาหกรรมขวดแก้ว ประกอบด้วยกิจกรรมรีไซเคิลและกิจกรรมขนส่ง ซึ่งทั้ง 2 กิจกรรมนั้นมีการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่างกัน โดยกิจกรรมการขนส่ง (ทั้งกิจกรรมขาเข้าและขาออก) จะวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณการใช้น้ำมันของคุณกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถบรรทุก โดยแบ่งตามประเภทของน้ำมันที่ใช้ ซึ่งน้ำมันดีเซลจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 2.630 kgCO₂ สำหรับกิจกรรมรีไซเคิลนั้นคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการปริมาณใช้ไฟฟ้าในส่วนโรงงานรีไซเคิลของคุณกับค่าสัมประสิทธิ์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยคือ 0.63 หลังจากได้วิธีการแล้ว จึงนำมาทดสอบโดยใช้บริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด เป็นกรณีศึกษา พบว่าในส่วนของกิจกรรมรีไซเคิลมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเท่ากับ 7,680,456 kgCO₂ ขณะที่กิจกรรมขนส่งในส่วนของโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistics) นั้นมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1080.93 kgCO₂ และโลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics) มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 949.17 kgCO₂ ซึ่งรวมแล้วมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด เท่ากับ 7,682,486.1 kgCO₂ ประโยชน์ของงานวิจัยฉบับนี้คือ การนำเสนอวิธีการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ เนื่องจากกิจกรรมทั้ง 2 กิจกรรมที่นำมาใช้วัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในงานนี้เป็นกิจกรรมหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการรีไซเคิล อย่างไรก็ตามควรมีการเลือกใช้ตัว

คุณให้เหมาะสมกับกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมนั้นๆ ในกรณีของกิจกรรมขนส่งนั้น การใช้ปริมาณน้ำมันเป็นตัวชี้วัดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้สามารถวัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากยานพาหนะได้ชัดเจน เนื่องจากปริมาณน้ำมันสามารถสะท้อนข้อมูลได้หลายแง่มุม ได้แก่ ขนาดเครื่องยนต์ อายุเครื่องยนต์ และระยะทางในการขนส่ง

ข้อจำกัดของงานวิจัยฉบับนี้คือ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าภายในโรงงานรีไซเคิล ที่ได้เก็บข้อมูลมาจากบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด นั้น ไม่ได้ระบุปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการรีไซเคิลที่เกิดขึ้น เช่น การบด การหลอม และการขึ้นรูป จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละกิจกรรมได้อย่างละเอียด นอกจากนี้ การใช้ตัวคุณในการวัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกิจกรรมขนส่ง และกิจกรรมรีไซเคิลนั้นมาจากแหล่งอ้างอิงที่แตกต่างกัน โดยกิจกรรมรีไซเคิล ใช้ฐานตัวเลขอ้างอิงจาก Greenpeace ประเทศไทย ซึ่งเป็นตัวคุณใช้วัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย แต่ในกิจกรรมการขนส่งได้ใช้ฐานตัวเลขอ้างอิงจากหน่วยงาน Defra (The Department for Environment, Food and Rural Affairs) หรือกระทรวงสิ่งแวดล้อม อาหารและกิจการชนบท ซึ่งเป็นหน่วยงานของประเทศไทย เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านข้อมูล ซึ่งประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาและกำหนดตัวคุณที่ใช้สำหรับวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมการขนส่ง โดยจากข้อจำกัดดังกล่าวที่ประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาและกำหนดฐานข้อมูลที่จะเป็นตัวคุณสำหรับการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมขนส่ง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในเรื่องตัวคุณด้านการขนส่งสำหรับใช้ในประเทศไทยเพื่อให้มีตัวคุณที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้อวิธีการการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในงานวิจัยฉบับนี้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Ahluwalia P.K. and Nema A.K.(2006), "Multi-objective reverse logistics model for integrated computer waste management", *Waste Management and Research*, pp. 514-527.
- Albert Wee Kwan Tan, Wei Shin Yu and Kuman Arun (2003). "Improving the performance of a computer company in supporting its reverse logistics operations in the Asia-Pacific region", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 33 No.1, pp.59-74.
- Arnold Tukker (2000). "Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment", *Environmental Impact Assessment Review*, pp. 435-456.
- Banomyong R., Veerakachen V. & Supatn N. (2004). "Leagility in reverse logistics process: A case study of electronic appliance manufacturer", *9th Logistics Research Network (LRN) Conference 2004*, pp. 36-42.
- Chad W. Autry, Patricia J. Daugherty and R. Glenn Richey (2001). "The challenge of reverse logistics in catalog retailing", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 31 No. 1, 2001, pp. 26-37.
- Daugherty, P.J., Autry, C.W., Ellinger, A.E. (2001), "Reverse logistics: the relationship between resource commitment and program performance", *Journal of Business Logistics*, Vol. 22 No.1, pp.107-23.
- Daugherty, P.J., Myers, M.B., Richey, G.R. (2002), "Information support for reverse logistics: the influence of relationship commitment", *Journal of Business Logistics*, Vol. 23 No.1, pp.85-106.
- Dimitrios A. Georgakellos (2006). "The use of the LCA polygon framework in waste management", *Management of Environmental Quality: An International Journal*. Vol. 17 No. 4, 2006, pp. 490-507.
- Draft Code of Best Practices for Carbon Offset Providers, Accreditation requirements and procedures, February 2008, the Department for Environment, Food and Rural Affairs
- H. Scott Matthews, Chris T. Hendrickson and Christopher L. Weber (2008). "The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries", *Environ. Sci. Technol.* 2008, 42 (16), pp. 5839-5842.
- Haw-Jan Wu and Steven C. Dunn (1995). "Environmentally responsible logistics systems", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 25 No. 2, 1995, pp. 20-38.
- Howard Drossman and Emily Pezzetta Wright (2002). "The ecological footprint of the Colorado college : An examination of sustainability", *Environmental Science*, May, 2002.

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการรีไซเคิล ของอุตสาหกรรมขวดแก้ว
กรณีศึกษาบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด

- I-Lin Wang and Wen-Cheng Yang (2007). "Fast Heuristics for Designing Integrated E-Waste Reverse Logistics Networks", *IEEE Transactions on electronics packaging manufacturing*. Vol.30 No. 2.
- Isanobu Kihara and Takashi Inoue (2002), "CO₂ emissions per individual based on a survey of university students", *Applied Energy* 72 (2002), pp. 645-658.
- Liz Breen (2006). "Reduce, Re-use, Recycle-What is the impact of customer non-compliance in Reverse Logistics Practices?"
- Kate Flint (2001). "Institutional ecological footprint analysis: A case study of the university of Newcastle, Australia", *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol.2 No.1, 2001, pp.48-62.
- Knemeyer A., Ponzurick T. and Logar C. M. (2002). "A Qualitative examination of factors affecting reverse logistics system for end-of-life computers", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 32 No. 6, pp.455-479.
- R. Glenn Richey, Patricia J. Daugherty, Stefan E. Genchev, Chad W. Autry (2004). "Reverse logistics : The impact of timing and resources" , *Journal of business logistics* .Vol. 25 No. 2, 2004.
- R. Glenn Richeya, Haozhe Chenb, Stefan E. Genchevb, and Patricia J. Daughertyb (2005). "Developing effective reverse logistics programs", *Industrial Marketing Management*. Vol. 34, Issue 8, November 2005, pp. 830-840.
- Radoslav S. (2005), "The importance of reverse logistics in the Czech Republic", Sixth International Conference on "Enterprise in Transition.
- Rhys Rowland-Jones and Malcolm Cresser (2005). "Determining a quantifiable pollution management model (QPM)", *Management of Environmental Quality: An International Journal* . Vol. 16 No. 5, 2005, pp. 421-443.
- Rogers D.S. and Tibben-Lembke, R.S. (2001), "An Examination of Reverse Logistics Practices", *Journal of Business Logistics*, Oak Brook, Vol. 22 No. 2.
- Rogers D.S. and Tibben-Lembke, R.S. (2002), "Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices".
- Ronald S. Tibben – Lembke (2002). "Life after death : reverse logistics and the product life cycle", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 32 No. 3, 1992, pp.223-244.
- S.Monprapussorn, D.Thaitakoo, D. J. J. Watts and R.Banomyong (2009), "Multi Criteria Decision Analysis and Geographic Information System Framework for Hazardous Waste Transport Sustainability", *Journal of applied sciences* 9 (2): 268-277, 2009
- Shih, L. (2001). "Reverse Logistics System Planning for Recycling Electrical Appliances and Computers in Taiwan." *Resources, Conservation*

- and Recycling. Vol. 32, pp. 55-72.
- Simson, R., Petroeschevsky, A. and Lowe, I. (1998), "The ecological footprint of Australia, with focus on the South-East Queensland region", (unpublished), Griffith University, Brisbane.
- Tan A., Wei Shin Yu and Arun K. (2002). "Improving the performance of a computer company in supporting its reverse logistics operation in the Asia-Pacific region", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 33 No.1, pp. 59-74.
- Terrance L. Pohlen and M. Theodore Karris II (1992). "Reverse Logistics in Plastics Recycling", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 22 No. 7, 1992, pp. 35-47.
- Thomas J. Goldsby and David J. Closs (2000). "Using activity-based costing to reengineer the reverse logistics channel", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30 No.6, 2000, pp. 500-514.
- Tiravat Assavapokee, Pantanat Wayuparb, and Heng Yao (2006). "Reverse logistics network design for electronic products in the state of Texas".
- VIVIAN W. Y. TAM, C. M. TAM, L. Y. SHEN, S. X. ZENG and C. M. HO (2006). "Environmental Performance assessment: perceptions of project managers on the relationship between operational and environmental performance indicators", *Construction Management and Economics*, pp.287-299.
- Vouravis Veerakachen (2006), "Reverse Logistics Performance in the Thai Automotive Industry", A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of business administration in international business, Faculty of Commerce and Accountancy, Thammasat University.
- Wiedmann, Thomas; Minx (2008), "A Definition of Carbon Footprint " *ISAUK Research & Consulting*. Accessed March 11, 2008.
- 2008 Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors, the Department for Environment, Food and Rural Affairs
- อํารงรัตน์ มุ่งเจริญ (2008), "LCA กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม กระบวนทัศน์ใหม่...เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไทย", ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สวทช. (FC)
- นโยบายและทิศทางการพัฒนาที่สะอาด, สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- คลินิกโลกร้อน, กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สำนักงานประเทศไทย)