

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทที่แล้วได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม สำหรับในบทนี้จะแสดงแนวทางและขั้นตอนในการประเมิน ในการทำวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มและนำทฤษฎีที่กล่าวถึงมาใช้ในการวิเคราะห์

3.1 รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ โดยจะทำการรวบรวมข้อมูลจากโรงงานและแหล่งต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังรูปภาพที่ 3.1

3.2 วิธีการวิจัย

วิธีการในการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้ว ทำการประเมินตามวิธีอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 โดยแบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นสามขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ ศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของขวดแก้วสามขั้นตอนคือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต กระบวนการผลิตและการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน

3.2.1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal definition)

ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตของขวดแก้ว สิ่งที่สำคัญและต้องกำหนดให้ชัดเจน สืบเนื่องมาจากวัตถุประสงค์ของการศึกษา ก็คือ การกำหนดขอบเขตของการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางและข้อจำกัดขอบเขตการศึกษา ตลอดจนเพื่อให้การวิเคราะห์ผลลัพธ์และผลสรุปที่ได้นั้นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในการกำหนดขอบเขตของการศึกษาประกอบไปด้วย

3.2.1.2 หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function)

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการศึกษา คือ ขวดแก้วประเภทขวดใสใช้บรรจุน้ำดื่ม

3.2.1.3 หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

ขวดแก้วที่ใช้ในการทำวิจัยนี้เป็นขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml ที่ผลิตโดยบริษัทแห่งหนึ่งที่ทำการผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม

3.2.1.4 การกำหนดเกณฑ์ในการประเมินวัฏจักรชีวิต (Assessment Criteria)

จากการศึกษากระบวนการผลิตเบื้องต้นของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml ซึ่งจะคิดปริมาณการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต 1000 กิโลกรัม (ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551) พบว่าประเด็นสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญที่นำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ คือ

- Global Warming	ภาวะโลกร้อน
- Ozone Depletion	การลดลงของโอโซน
- Acidification	ปัญหาภาวะกรดในบรรยากาศ
- Eutrophication	ภาวะฟื้หน้าเติบโตผิดปกติ
- Photochemical Smog	การเกิดหมอกควันพิษ
- Ecotoxicity Water Chronic	การเกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง
- Ecotoxicity Water Acute	การเกิดความเป็นพิษทางน้ำอย่างเฉียบพลัน
- Ecotoxicity Soil Chronic	การเกิดความเป็นพิษทางดินเรื้อรัง
- Human Toxicity Air	การเกิดความเป็นพิษทางอากาศต่อมนุษย์
- Human Toxicity Water	การเกิดความเป็นพิษทางน้ำต่อมนุษย์
- Human Toxicity Soil	การเกิดความเป็นพิษทางดินต่อมนุษย์
- Bulk Waste	การเกิดของเสียในรูปของของแข็ง
- Hazardous waste	การเกิดของเสียอันตราย
- Slags/Ashes	การเกิดกากของเสียและขี้เถ้า
- Resource(all)	การลดลงของทรัพยากร

3.2.2 การทำบัญชีรายการข้อมูล (Inventory Analysis)

ประกอบด้วยการสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการ การเก็บข้อมูล การกำหนดขอบเขตของระบบและการระบุชนิดและปริมาณการใช้วัตถุดิบ พลังงาน การทำบัญชีรายการตาม

ช่วงวิจัยชีวิตทั้งสามช่วงและแสดงรายละเอียดการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัย ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

3.2.2.1 วัตถุดิบ (Raw Materials)

วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบหลักของการผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มประกอบด้วย วัตถุดิบหลักที่สำคัญ 6 ชนิด คือ ททรายแก้ว โซดาแอช โดโลไมต์ ลามสโตน เฟสปลา เศษแก้ว โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลจากโรงงานที่ผลิตขวดแก้ว จากทางบริษัทแห่งหนึ่งที่ทำกรผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม การเก็บข้อมูลเริ่มจากการขอความร่วมมือจากโรงงาน เข้าไปเยี่ยมชมโรงงานเพื่อทำความเข้าใจในกระบวนการผลิต รวมถึงซักถามข้อสงสัยต่างๆ หลังจากนั้นส่งตารางการสำรวจข้อมูลให้ผู้ประสานงานที่ทางโรงงานมอบหมายหน้าที่ให้(เป็นวิศวกรควบคุมการผลิตหรือผู้จัดการฝ่ายผลิต) เพื่อให้ทางโรงงานเป็นผู้รวบรวมข้อมูลต่างๆ สำหรับข้อมูลสำคัญบางส่วนที่ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง ผู้ประสานงานเป็นผู้ทำการประมาณค่าเหล่านั้น รวมถึงความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการประมาณค่า

3.2.2.2 กระบวนการผลิต (Manufacturing)

ได้มาจากปริมาณการใช้พลังงานต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต แล้วคิดเป็นพลังงานที่ใช้ต่อการผลิตขวดแก้วหนึ่งใบ

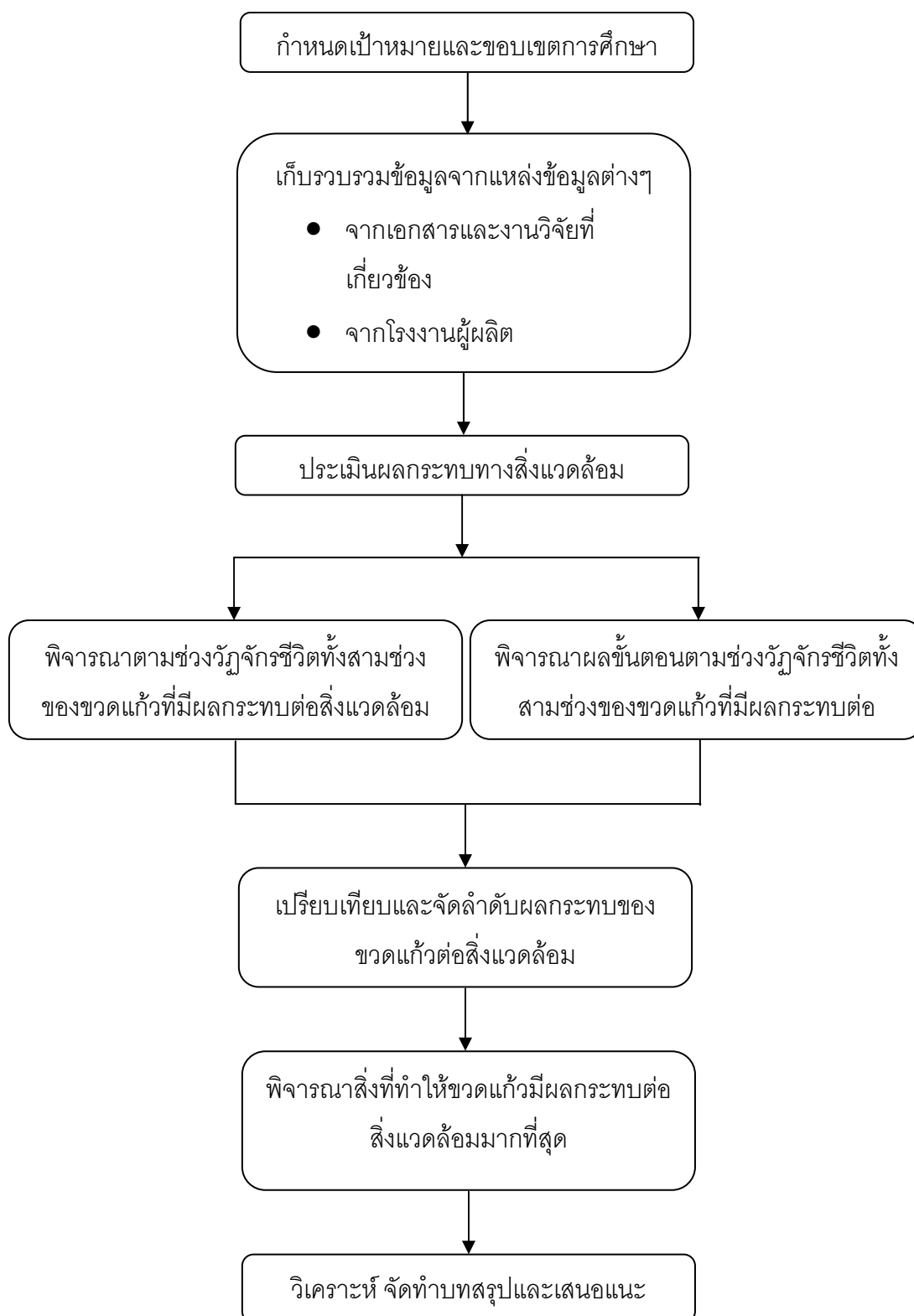
3.2.2.3 การกำจัดหลังหมดอายุใช้งานการใช้งาน (Exterminate after Use)

เนื่องจากขวดแก้วที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยโรงงานรับซื้อของเก่ารายใหญ่จะต้องแยกประเภทของขวดแก้วระหว่างขวดสีกับขวดใส เพื่อนำมาขายให้กับโรงงานผลิตขวดแก้วใช้เป็นวัตถุดิบส่วนผสมในการผลิตขวดแก้ว

ตารางที่ 3.1

รูปแบบการวิจัยโดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต	เก็บ ข้อมูล จาก โรงงาน	สอบถาม จากผู้ ที่เกี่ยวข้อง	งานวิจัย/ เอกสาร อ้างอิง	ฐานข้อมูล SimaPro
การเตรียมวัตถุดิบ(Raw Materials) - ทราเยกั่ว โซดาแอช โดโลไมต์ ลาม สโตน เฟสปลา เศษแก้ว	●	●	●	●
กระบวนการผลิต (Manufacturing) - การใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต - การใช้เชื้อเพลิงในการผลิต	● ●	● ●		●
การกำจัดหลังหมดอายุใช้งานการ ใช้งาน (Exterminate after Use) - การใช้พลังงานในการย่อย	●	●		



ภาพที่ 3.1

แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

จากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการ (Inventory) จะทราบข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ข้อมูลการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก บางอย่างมีผลกระทบน้อย เพื่อให้การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน การตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมแหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ มีขั้นตอน ดังนี้

3.2.3.1 การจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Classification /Characterization)

มีการคำนวณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ (Potential Environmental Impacts) สำหรับการปลดปล่อยมวลสารว่ามีมวลสารใดบ้าง ปลดปล่อยออกมาปริมาณเท่าใดที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แล้วนำมาเขียนเป็นกราฟจัดแบ่งแยกเป็นกลุ่มๆ ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น นำผลจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Effect) มารวมกันเป็นกลุ่ม เป็นต้น

3.2.3.2 การเทียบหน่วย (Normalization)

จากขั้นตอน Characterization พิจารณาต่อว่าการใช้ทรัพยากรและผลกระทบที่เป็นไปได้อีกเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อมในการทำงานมีผลแค่ไหน ในความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสังคม มองเป็นภาพรวมทั้งหมด โดยนำจำนวนประชากรในพื้นที่ที่ทำการวิจัยในช่วงนั้น ๆ มาเฉลี่ย หรืออาจกล่าวได้ว่านำผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่คำนวณได้จากขั้นตอน Characterization มาพิจารณาเปรียบเทียบว่า ในจำนวนประชากร 1 คนทำให้เกิดผลกระทบได้แค่ไหนในช่วงเวลาที่กำหนด

3.2.3.3 การให้น้ำหนัก (Weighting)

ในขั้นตอนนี้จะเปรียบเทียบว่า การใช้แหล่งทรัพยากรใดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุดโดยนำปัจจัยการถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor) มาคูณผลที่ได้จากขั้นตอน Normalization ผลที่ได้สุดท้ายนี้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงที่สุดต่อมนุษย์ ซึ่งปัจจัยการถ่วงน้ำหนัก เกิดจากการคำนวณของความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ที่มีต่อมนุษย์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

3.2.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา

3.3 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต

เนื่องจากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขมากมาย จึงอาจต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการทำงาน ซึ่งสามารถใช้จัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว สะดวกสบาย และมีคุณภาพมากกว่า เดิมนิยมใช้โปรแกรมประเภทตารางข้อมูล (Spreadsheets) ในการคำนวณแต่ในปัจจุบันเริ่มที่จะหันมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเฉพาะสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตมากขึ้นเนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายกว่าและเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากๆ และเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ทำได้ทั่วโลกได้

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่างๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อแก้ปัญหาในการจัดการกับข้อมูลในปริมาณมาก โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตบางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นให้ใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ นั่นคือ การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลกระทบ และบางโปรแกรมมีการแปลข้อมูล ในหลายโปรแกรมจะมีตัวอย่างโปรแกรมให้ผู้สนใจเข้าไปศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ตัวอย่างโปรแกรมเหล่านี้มีข้อจำกัดในการศึกษาประเด็นสำคัญในการเลือกใช้โปรแกรมมีหลายประเด็น เช่น

- ฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ
- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล ฯลฯ

3.4 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1

โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบมีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปตาราง หรือกราฟ เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับวิศวกรสิ่งแวดล้อม วิศวกรออกแบบ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ ใช้ระยะเวลาใน

การศึกษามาก มีการปรับปรุงฐานข้อมูล นอกจากนี้แล้วสามารถสังเกตได้ว่ามีโปรแกรมอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SimaPro แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือราคาและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro สำหรับประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้ว

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจากบริษัท Pre'Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆ ของการทำประเมินวัฏจักรชีวิต มาจัดอย่างเป็นระบบ โดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้จะนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม สามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้

1) กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย : ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผล

2) การรวบรวมข้อมูล : เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น

3) การประเมินผลกระทบ : โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบอาทิเช่น EDIP 96, Eco-indicator 99, Environments Priority Strategy in Product Design : EPS 2000 เป็นต้น ซึ่งจะทำการศึกษาในรายละเอียดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

4) การแปลความหมายข้อมูล: เป็นการนำเอาผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายตามขอบเขตที่ระบุ (ที่มา: Pre' Consultants, 2007)

ตารางที่ 3.2
การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อ	CUMPAN	ECO-it 1.0	EDIP	EPS 4.0	Gabi 3	SimaPr0	TEAM	Umberto
	1.44		PC-tool	Design system		4.0		3.5
ประเทศ	เยอรมันนี	เนเธอร์แลนด์	เดนมาร์ก	สวีเดน	เยอรมันนี	เนเธอร์แลนด์	ฝรั่งเศส	เยอรมันนี
จำนวนลิขสิทธิ์ที่ขายได้	62	70	100	>200	250	>600	>200	>350
ราคา (ในปี 2000)	\$6,000	\$215	\$700	\$3,200	\$2,500-8,000	\$2,540	\$3,000	\$1,000-20000
เวลาที่ใช้ในการศึกษา	1 วัน	<2 ชั่วโมง	<1สัปดาห์	<1สัปดาห์	<1เดือน	<1วัน	<1วัน	<1สัปดาห์
วิธีการประเมินผลกระทบ	Several	All single score method	EDIP, environmental method	EPS	Eco Indicator	EI95,EI99, EP97,CML, EDIP,EPS	CML,EPA, I P C C , CVCH	Ecoindicator, Swiss, Eco-point
เป็นไปตามมาตรฐาน								
ISO 14040	x	—	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในรูปแบบตาราง	x	x	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในรูปแบบกราฟ	x	x	x	x	x	x	x	x
การปรับปรุงข้อมูล	ทุกปี	ช่วงเวลาดีน	ช่วงเวลาดีน	ทุกปี	ช่วงเวลาดีน	ทุก 2 ปี	ทุกปี	ช่วงเวลาดีน

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)
การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design system	Gabi 3	SimaPr0 4.0	TEAM	Umberto 3.5
แสดงผลในแต่ละประเภทของผลกระทบ	x	—	x	x	x	x	x	x
สามารถแสดงผลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ได้	x	—	x	x	x	x	x	x
สามารถดึงผลการประเมินออกจากโปรแกรมได้	x	x	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับวิศวกรออกแบบ	x	x	x	x	—	x	—	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับวิศวกรสิ่งแวดล้อม	x	—	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับผู้เชี่ยวชาญด้าน LCA	—	—	x	x	x	x	x	x
มีฐานข้อมูล	x	x	x	x	x	x	x	x
สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปใหม่ได้	x	x	x	x	x	x	x	x

x หมายถึง มีคุณสมบัติในโปรแกรม _ หมายถึง ไม่มีคุณสมบัติในโปรแกรม (Jonbrink et al., 2000 อ้างอิงใน นงคันทน์ พงษ์ชัยวิบูรณ์, 2547)

3.5 ฐานข้อมูล LCI

ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมที่สามารถพบได้ในซอฟต์แวร์สำหรับประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น

- 1) ฐานข้อมูล BUWAL250 พัฒนาขึ้นจากฐานข้อมูลเดิม BUWAL 132 โดย EMPA St.Gallen ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ปี1990 จัดจำหน่ายโดย Pre'Consultants พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro7.1
- 2) ฐานข้อมูล ETH-ESU96 (มีทั้งแบบ System Process และ Unit Process) เป็นฐานข้อมูลบัญชีรายการข้อมูลด้านพลังงานสำหรับ Swiss และ Western European Situation พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro7.1
- 3) ฐานข้อมูล IDEMAT 2001 ปรับปรุงจากฐานข้อมูลเดิม IDEMAT96 ซึ่งจัดทำขึ้นโดยคณะวิศวกรรมกรรมการออกแบบอุตสาหกรรมของมหาวิทยาลัย Delft University of Technology เป็นฐานข้อมูลของประเทศ เนเธอร์แลนด์ จัดจำหน่ายโดย Pre'Consultants พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro5.1
- 4) ฐานข้อมูล Data Archive เป็นฐานข้อมูลเก่าที่รวบรวมจากซอฟต์แวร์ SimaPro 4.0 เดิม แต่ยังคงเป็นฐานข้อมูลที่เป็นประโยชน์ พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 7.1
- 5) ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ทางศูนย์เฉพาะทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ประเทศไทย ได้รวบรวมและจัดเก็บในฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 5.1

3.6 วิธีการประเมินแบบ Environmental Design of Industrial Product : EDIP

การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Environmental Design of Industrial Product (EDIP) ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเดนมาร์ก ปี 1996 ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่ม (Characterization) ซึ่งอาจรวมถึงการเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมในวิธี EDIP มีทั้งหมด 16 กลุ่ม ได้แก่

- Global warming (GWP100)
- Ozone depletion

- Acidification
- Eutrophication
- Photochemical Smog
- Ecotoxicity water chronic
- Ecotoxicity water acute
- Ecotoxicity soil chronic
- Human toxicity air
- Human toxicity water
- Human toxicity soil
- Bulk waste
- Hazardous waste
- Radioactive waste
- Slags/ashes
- Resources (all)

ขั้นตอนในการประเมินแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

3.6.1 Classification/ Characterization

เป็นขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ในกรณี ภาวะโลกร้อนขึ้นก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะโลกร้อนขึ้นจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ CO₂-equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3
ค่า Global Warming Potential ในเวลาต่าง ๆ กัน

	GWP:Global Warming Potential (gCO ₂ /gก๊าซ)			
ก๊าซต่างๆ	สูตรเคมี	20 ปี	100 ปี	500 ปี
Carbon Dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	62	25	8
CFC 11	CFCI ₃	5000	4000	1400
CFC 12	CF ₂ Cl ₂	7900	8500	4200
CFC 134a	CH ₂ FCF ₃	3300	1300	420

(ที่มา : Chracterization Factors Based on IPCC Report on Climate ChangeSource :
MTEC-NSTDA)

จากนั้นนำมาคำนวณหาศักยภาพของผลกระทบนั้นๆ ด้วยสมการที่ 1

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij}) \quad (1)$$

ซึ่งค่า EP_j (Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ

Q_i (Quantity of Substance) คือ ปริมาณสารมลภาวะ i ที่ถูกปล่อยออกมา

EF_{ij} (Equivalency Factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j

3.6.2. Normalization

เป็นขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวมขั้นตอนนี้จะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งานและสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ต่อคนต่อปี มีการคำนวณดังสมการที่ 2

$$NP_{j(\text{Product})} = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2)$$

ซึ่งค่า NP_j (Product) (Normalized Environmental Impact Potential) คือ ค่ามาตรฐานของศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์

T (Lifetime of Product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (ปี)

ER_j (Normalization Reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบที่ j ใด ๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg Substance Equivalent/Person/year)

วิธี EDIP นี้จะอ้างอิงข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมจากปี 1990 ดังนั้นค่า ER_{j90} หาได้จากอัตราส่วนของค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่อจำนวนประชากรในปี 1990 ได้การคำนวณดังสมการที่ 3 และค่า ER_{j90} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3

$$ER_{j90} = EP_{j90} / POP_{j90} \quad (3)$$

ตารางที่ 3.4

ค่า ER_{j90} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ต่อคน
ภาวะโลกร้อน	KgCO ₂ -eq/year	8700
การลดลงของโอโซน	KgCFC11-eq/year	0.2
ภาวะกรดในบรรยากาศ	KgSO ₂ -eq/year	82

(ที่มา : Chracterization Factors Based on IPCC Report on Climate ChangeSource : MTEC-NSTDA)

3.6.3 Weighting

สำหรับการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดที่จะมีค่าแตกต่างกันออกไป อัตราส่วนของความสำคัญ WF (Weighting Factor) จะขึ้นอยู่กับ

กับผู้ประเมิน เช่น มีการนำเอานโยบายสิ่งแวดล้อมโลกในการลดมลภาวะแต่ละชนิด มาเป็นค่า WF หรือนำเอากฎหมายสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศในการอนุญาตให้ปล่อยมลภาวะแต่ละชนิด มาตั้งเป็นค่า WF ก็ได้ แต่โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro ได้ใช้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตของคน 1 คน ในหนึ่งพันคนต่อปี ซึ่งสมการการคำนวณได้จากสมการที่ 4 และ 5

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &= WF_j \times EP_{j(\text{Product})} / ER_{j90} \\ &= (ER_{j90} / ER_{j2000}) \times (EP_{j(\text{Product})} / ER_{j90}) \\ &= EP_{j(\text{Product})} / ER_{j2000} \end{aligned} \quad (5)$$

ซึ่งค่า WP_j (Weighted Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่านำหนักความสำคัญแล้ว มีหน่วย คือ Milliperson-eq for Target Year (mPE_T) WF_j (Weighting Factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ ซึ่ง WF_j ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมใดๆ ที่เกิดจากการกระทบของคนหนึ่งคนต่อปี (ER_{j90}) กับเป้าหมายของสังคมที่จะกำหนดให้ก่อมลพิษได้ในปี 2000 (ER_{j2000}) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของนโยบายทางสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้นๆ สามารถเขียนเป็นสมการคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$WF_j = ER_{j90} / ER_{j2000} \quad (6)$$

WF_j จะแสดงปริมาณค่า ER_{j2000} ที่จะต้องถูกกำหนดให้ลดลงในปี 2000 ซึ่งเป็นไปตามนโยบายทางสิ่งแวดล้อมในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภท โดยที่ถ้าการตั้งเป้าหมายของการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเท่าไรแสดงว่าค่า WF_j จะมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งค่า ER_{j2000} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$ER_j = EP_{j2000} / POP_{90} \quad (7)$$

ค่า EP_{j2000} เป็นค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปี 2000 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$EP_{j2000} = \sum \{ (EP_{j90} \times [1 - PRT_i \times 10 / (TY_i - RY_i)]) \} \quad (8)$$

ซึ่งค่า PRT_i (Political Reduction Target) คือ เป้าหมายการลดลง (%) ของสาร i ระหว่างปีที่

เป็นปีอ้างอิงปีที่เป็นเป้าหมาย

TY_i คือ ปีเป้าหมายตามนโยบายการลดลงของสาร i

RY_i คือ ปีอ้างอิง

3.7 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

รายละเอียดข้อมูลการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ พลังงาน เชื้อเพลิง และการปลดปล่อยของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้น เพื่อทำการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม จะแสดงข้อมูลบัญชีรายการแสดงตาม 4 ขั้นตอนหลัก คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม กระบวนการผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม และการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน รวมกันในรูปแบบ Cradle to Gate ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมทั้งหมดสามารถสรุปเป็นตารางสารขาเข้าสารขาออก (Gate to Gate) ของผลิตภัณฑ์ขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม ที่เลือกศึกษา ดังแสดงตารางที่ 3.5 ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและพลังงานในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม (ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551 หน้า82)

ตารางที่ 3.5

ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและพลังงานในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม

SimaPro 7.1		Inventory	Date:	Time:
Project	Introduction to SimaPro 7 8/8/2009 17:38:17			
Title:	Analyzing 1 kg 'Glass (white) B250'			
Method:	EDIP 2003 V1.01 / Default			
Compartment:	Raw material			
Per sub-compartment:	No			
Default units:	Yes			
Indicator:	Inventory			
Relative mode:	Non			
No	Substance	Unit	Total	
1	Calumite	kg	0.0065	
2	Coal, 18 MJ per kg, in ground	kg	0.0491	
3	Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	kg	0.013	
4	Dolomite, in ground	kg	0.0805	
5	Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	MJ	0.594	
6	Feldspar, in ground	kg	0.0355	
7	Gas, natural, 36.6 MJ per m3, in ground	m3	0.0145	
8	Iron ore, in ground	kg	4.92E-06	
9	Limestone, in ground	kg	0.11	
10	Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	kg	0.183	
11	Recycling glass	kg	0.625	
12	Sand, quartz, in ground	kg	0.253	
13	Sodium chloride, in ground	kg	0.108	
14	Sulfur dioxide, secondary	kg	0.00101	
15	Uranium, 451 GJ per kg, in ground	kg	4.83E-06	
16	Water, process, unspecified natural origin/m3	m3	0.000988	
17	Wood, unspecified, standing/kg	kg	0.000115	

(ที่มา : โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ,2009)

3.7.1 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางอากาศ

จากตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและพลังงานในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม พอสรุปเป็นข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางอากาศ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6

ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางอากาศในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม

SimaPro 7.1	Inventory	Date:	Time:
Project	Introduction to SimaPro 7	8/8/2009	17:39:20
Title:	Analyzing 1 kg 'Glass (white) B250'		
Method:	EDIP 2003 V1.01 / Default		
Compartment:	Airborne emission		
Per sub-compartment:	No		
Default units:	Yes		
Indicator:	Inventory		
Relative mode:	Non		
No	Substance	Unit	Total
1	Ammonia	kg	3.82E-05
2	Benzene	kg	1.94E-06
3	Cadmium	kg	1.03E-08
4	Carbon dioxide	kg	0.748
5	Carbon monoxide	kg	0.000787
6	Dinitrogen monoxide	kg	2.04E-06
7	Hydrocarbons, aromatic	kg	3.83E-06
8	Hydrocarbons, halogenated	kg	1E-10
9	Hydrogen chloride	kg	6.79E-05
10	Hydrogen fluoride	kg	1.58E-05

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางอากาศในการผลิตขวดแก้วหนึ่ง
กิโลกรัม

No	Substance	Unit	Total
11	Lead	kg	4.46E-05
12	Manganese	kg	3.9E-09
13	Mercury	kg	1.9E-09
14	Metals, unspecified	kg	4.23E-06
15	Methane	kg	0.000781
16	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	kg	4.35E-08
17	Nickel	kg	4.1E-07
18	Nitrogen oxides	kg	0.00231
19	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	0.00164
20	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	4.5E-09
21	Particulates	kg	0.0013
22	Radioactive species, unspecified	Bq	403000
23	Sulfur oxides	kg	0.00269
24	Zinc	kg	2.22E-07

(ที่มา : โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ,2009)

3.7.2 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางน้ำ

จากตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและพลังงานในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม พอสรุปเป็นข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางน้ำ ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7

ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางน้ำในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม

SimaPro 7.1	Inventory	Date:	Time:
Project	Introduction to SimaPro 7	8/8/2009	17:39:55
Title:	Analyzing 1 kg 'Glass (white) B250'		
Method:	EDIP 2003 V1.01 / Default		
Compartment:	Waterborne emission		
Per sub-compartment:	No		
Default units:	Yes		
Indicator:	Inventory		
Relative mode:	Non		
No	Substance	Unit	Total
1	Aluminum	kg	2.03E-05
2	Ammonium, ion	kg	2.93E-05
3	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	kg	3.18E-08
4	Arsenic, ion	kg	4.6E-08
5	Barium	kg	2.43E-05
6	BOD5, Biological Oxygen Demand	kg	4.75E-07
7	Cadmium, ion	kg	1.11E-08
8	Chloride	kg	0.0639
9	Chromium	kg	2.7E-07
10	COD, Chemical Oxygen Demand	kg	9.64E-06
11	Copper, ion	kg	1.11E-07

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยมลภาวะทางน้ำในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม

No	Substance	Unit	Total
12	Cyanide	kg	3.52E-08
13	DOC, Dissolved Organic Carbon	kg	2.94E-08
14	Hydrocarbons, aromatic	kg	7.75E-06
15	Hydrocarbons, chlorinated	kg	8E-09
16	Iron	kg	2.36E-05
17	Kjeldahl-N	kg	1.12E-06
18	Lead	kg	1.84E-07
19	Mercury	kg	1E-10
20	Metallic ions, unspecified	kg	5.93E-05
21	Nickel, ion	kg	1.22E-07
22	Nitrate	kg	6.26E-06
23	Nitrogen, total	kg	9.92E-06
24	Oils, unspecified	kg	0.000283
25	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	1.19E-07
26	Phenols, unspecified	kg	1.3E-06
27	Phosphate	kg	1.22E-06
28	Radioactive species, unspecified	Bq	3720
29	Solved substances, inorganic	kg	0.0395
30	Sulfate	kg	0.000627
31	Sulfide	kg	2.79E-07
32	Suspended substances, unspecified	kg	0.00503
33	TOC, Total Organic Carbon	kg	7.4E-05
34	Toluene	kg	1.08E-06
35	Waste water/m3	m3	0.00168
36	Zinc, ion	kg	2.76E-07

(ที่มา : โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ,2009)

3.7.3 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตขวดแก้ว

จากตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและพลังงานในการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม พอสรุปเป็นข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตขวดแก้ว ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.8

ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตขวดแก้วหนึ่งกิโลกรัม

SimaPro 7.1	Inventory	Date:	Time:
Project	Introduction to SimaPro 7	8/8/2009	17:41:54
Title:	Analyzing 1 kg 'Glass (white) B250'		
Method:	EDIP 2003 V1.01 / Default		
Compartment:	Final waste flow		
Per sub-compartment:	No		
Default units:	Yes		
Indicator:	Inventory		
Relative mode:	Non		
No	Substance	Unit	Total
1	Metal waste	kg	0.00087
2	Mineral waste, from mining	kg	0.0358
3	Waste in bioactive landfill	kg	0.0262
4	Waste in incineration	kg	0.00519

(ที่มา : โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ,2009)