บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment; LCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือกิจกรรมต่าง ๆ ในเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน/การบำรุงรักษา การใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้ให้ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร” นอกจากนี้ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Materials Technology Center: MTEC) ได้ให้ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตว่า “เป็นกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน” โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.1.2 หลักการสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องและที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เช่น พลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ การปล่อยของเสียต่าง ๆ และการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2. การประเมินปละการหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยการพิจารณาจากปริมาณภาระทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ถูกบ่งชี้มาในขั้นตอนแรก

3. การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมและใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ

2.1.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ; 2551) แสดงดังภาพที่ 2.1.1

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope)

ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ขอบเขตระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ขั้นตอนนี้มีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา จึงนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะถ้าการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมดีพอ จะทำให้การประเมินสารขาเข้า (input) และสารขาออก (output) จากระบบ หรือประโยชน์ที่จะได้รับจากการปรับปรุงระบบนั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)

เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำ และดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ในภาพที่เข้าใจง่ายและควรประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต แผนผังของ

กระบวนการ และลักษณะของคุณภาพข้อมูล เช่น คุณภาพข้อมูล, แหล่งที่มา, และข้อจำกัดของข้อมูล เป็นต้น

3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)

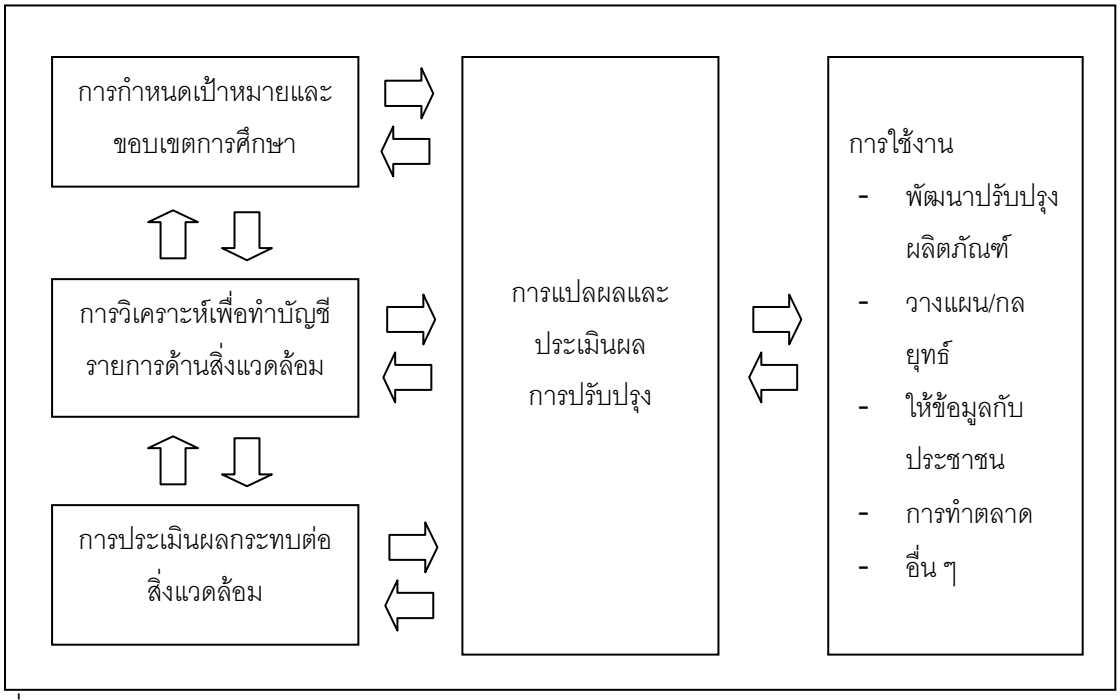
เป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย หรือสารขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินผลกระทบเกี่ยวข้องกับประเด็นหลักๆ คือการนิยามประเภท(Category definition) การจำแนกประเภท (Classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักความสำคัญแต่ละประเภท (Weighting)

4. การแปลผล (Interpretation)

เป็นการนำผลการศึกษามาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะที่มาจากผลการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

ภาพที่ 2.1.1

กรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์



ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2551

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลสิ่งแวดล้อมจากการเลือกก๊าซเรือนกระจกโดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ : ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเป็นกรณีศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปภาพรวมได้ดังนี้

พิธีสารเกียวโตของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Kyoto Protocol) มีวัตถุประสงค์ที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามมาตราที่ 3 ได้กำหนดพันธกรณีในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศภาคีในภาคผนวกที่ 1 โดยรวมแล้วไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 จากระดับการปล่อยโดยรวมของกลุ่มในปี พ.ศ. 2533 ภายในช่วง พ.ศ. 2551-2555 และมาตรา 3 กำหนดชนิดของก๊าซเรือนกระจกที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต 6 ชนิด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ,ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs),เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PCFs) และซัลเฟอร์เฮกซาฟลูโอไรด์ (SF_6) โดยกำหนดการลดก๊าซเหล่านี้ให้คิดเทียบเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 equivalent) พิธีสารเกียวโตเน้นการดำเนินการในประเทศที่มีพันธกรณีเองเป็นหลัก ประเทศไทยให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโตแล้ว แต่ประเทศไทยไม่ได้อยู่ในกลุ่มภาคผนวกที่ 1 จึงไม่มีพันธกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่อย่างใด อย่างไรก็ดี ประเทศไทยสามารถร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากการดำเนินโครงการ ภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) ตามที่นิยามไว้ในมาตรา 12 ของพิธีสารเกียวโต กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการดำเนินโครงการ CDM ซึ่งได้รับความเห็นชอบในหลักการจากคณะอนุกรรมการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยให้ความสำคัญกับการดำเนินงานดังกล่าวและจะได้ จัดตั้งองค์กรพิเศษที่มีประสิทธิภาพในการพิจารณาโครงการและส่งเสริมการดำเนินงานด้านนี้ นอกจากนี้ ยังได้ดำเนินการเสริมสร้างศักยภาพให้กับเจ้าหน้าภาครัฐ ภาคเอกชนและองค์กรพัฒนาเอกชนอย่างต่อเนื่อง โดยร่วมมือกับองค์กรระหว่างประเทศและประเทศต่าง ๆ รวมทั้งสถาบันวิจัยเพื่อเสนอแนะแนวทางดำเนินงานด้านกลไกการพัฒนาที่สะอาดใน ประเทศไทยให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน

สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ณ ปี 2541 มีปริมาณ 298ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Mt CO_2equivalent) ปริมาณการปล่อยก๊าซจากภาคพลังงานของไทยเทียบเท่ากับปริมาณการปล่อยก๊าซที่ร้อยละ 0.6 ของโลก ดังแสดงในตารางที่ 2.2.1

ตารางที่ 2.2.1

สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

องค์ประกอบ	ปี (พ.ศ. / ค.ศ.)			
	2541/ 1998	2543/2000	2553/2010	2563/2020
Carbon Dioxide (CO_2)	204.29	202.61	268.72	414.94
Methane (CH_4)	79.54	79.07	88.73	100.58
Nitrous Oxide (N_2O)	13.65	15.06	17.77	18.51
Hydro Fluoro Carbons (HFCs)	0.14	0.24	0.44	0.67
รวม	**297.61**	**296.98**	**375.66**	**534.70**
ปริมาณการลด GHG ร้อยละ 5	14.88	14.85	18.78	26.35
ปริมาณการลด GHG ร้อยละ 10	29.76	29.70	37.57	53.47

ที่มา : ศูนย์บริการข้อมูลด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ฯ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยมีการจัดตั้งองค์กรการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) เพื่อเป็นศูนย์กลางข้อมูลการดำเนินงานด้านก๊าซเรือนกระจก และประสานงานความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และองค์การระหว่างประเทศ อบก.ได้ส่งเสริมการแสดงสัญลักษณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon FootPrint) บนผลิตภัณฑ์เพื่อบ่งบอกถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle) สอดคล้องตามข้อกำหนดของมาตรฐาน PAS 2050: 2008 ตั้งแต่กระบวนการการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดของเสีย โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) PAS 2050 อธิบายข้อกำหนดเฉพาะในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยอาศัยเทคนิค “การประเมินวัฏจักรชีวิต” (Life Cycle Assessment, LCA) ตามมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 และ 14044 ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อน (Global warming potential หรือ GWP) ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการคำนวณเพื่อหาคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่านั้น PAS 2050 ได้กำหนดให้ใช้ตาม IPCC 2007 มีจำนวนก๊าซเรือนกระจกมากกว่า 60 ชนิด ดังตารางที่ 2.2.2 เพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ดังสมการที่ 2.1

Carbon footprint of a given activity = Activity data (mass/volume/kWh/km) × Emission factor (CO_2 per unit) (2.1)

ตารางที่ 2.2.2

ศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อน (GWP) ของก๊าซต่างๆ

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	25
Nitrous oxide	N_2O	298
Substances controlled by the Montreal Protocol		
CFC-11	CCl_3F	4,750
CFC-12	CCl_2F_2	10.900
CFC-13	$CClF_3$	14,400
CFC-113	CCl_2FCClF_2	6,130
CFC-114	$CClF_2CClF_2$	10,000
CFC-115	$CClF_2CF_2$	7,370
Halon-1301	$CBrF_3$	7,140
Halon-1211	$CBrClF_2$	1,890
Halon-2402	$CBrF_2CBrF_2$	1,640
Carbon tetrachloride	CCl_4	1,400
Methyl bromide	CH_3Br	5
Methyl chloroform	CH_3CCl_3	146
HCFC-22	$CHClF_2$	1,810
HCFC-123	$CHCl_2CF_3$	77
HCFC-124	$CHClFCF_3$	609
HCFC-141b	CH_3CCl_2F	725
HCFC-142b	CH_3CClF_2	2,310
HCFC-225ca	$CHCl_2CF_2CF_3$	122
HCFC-225cb	$CHClFCF_2CClF_2$	595

ตารางที่ 2.2.2 (ต่อ)

ศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อน (GWP) ของก๊าซต่างๆ

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
Hydro fluorocarbons		
HFC-23	CHF_3	14,800
HFC-32	CH_2F_2	675
HFC-125	CHF_2CF_3	3,500
HFC-134a	CH_2FCF_3	1,430
HFC-143a	CH_3CF_3	4,470
HFC-152a	CH_3CHF_2	124
HFC-227ea	CF_3CHFCF_3	3,220
HFC-236fa	$CF_3CH_2CF_3$	9,810
HFC-245fa	$CHF_2CH_2CF_3$	1,030
HFC-365mfc	$CH_3CF_2CH_2CF_3$	794
HFC-43-10mee	$CF_3CHFCHFCF_2CF_3$	1640
Per fluorinated compounds		
Sulfur hexafluoride	SF_6	22,800
Nitrogen trifluoride	NF_3	17,200
PFC-14	CF_4	7,390
PFC-116	C_2F_6	12,200
PFC-218	C_3F_8	8,830
PFC-318	c-C_4F_8	10,300
PFC-3-1-10	C_4F_{10}	8,860
PFC-4-1-12	C_5F_{12}	9,160
PFC-5-1-14	C_6F_{14}	9,300
PFC-9-1-18	$C_{10}F_{18}$	>7,500
Trifluoromethyl sulfur pentafluoride	SF_5CF_3	17,700

ตารางที่ 2.2.2 (ต่อ)

ศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อน (GWP) ของก๊าซต่างๆ

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
Fluorianated ethers		
HFE - 125	CHF_2OCF_3	14,900
HFE – 134	CHF_2OCHF_2	6,320
HFE – 143a	CH_3OCF_3	756
HCFE – 235da2	$CHF_2OCHClCF_3$	350
HFE – 245cb2	$CH_3OCF_2CHF_2$	708
HFE – 245fa2	$CHF_2OCH_2CF_3$	650
HFE – 254cb2	$CH_3OCF_2CHF_2$	359
HFE – 347mcc3	$CH_3OCF_2CF_2CF_3$	575
HFE – 347pcf2	$CHF_2CF_2OCH_2CF_3$	580
HFE – 356pcc3	$CH_3OCF_2CF_2CHF_2$	110
HFE – 499sl(HFE-7100)	$C_4F_9OCH_3$	297
HFE – 569sf2(HFE-7200)	$C_4F_9OC_2H_5$	59
HFE–43–10-pcc124(H-Galden 1040x)	$CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$	1,870
HFE - 236ca12 (HG-10)	$CH_2OCF_2OCHF_2$	2,800
HFE – 338pcc13 (HG-01)	$CHF_2OCF_2CF_2OCHF_2$	1,500
Perfluoropolyethers		10,300
PFPMIE	$CF_3OCF(CF_3)CF_2OCF_2OCF_3$	1
Hydrocarbons and other compounds – direct effects		
Dimethylether	CH_3OCH_3	1
Methylene chloride	CH_2Cl_2	8.7
Methyl chloride	CH_2Cl	13

สำหรับงานวิจัยในต่างประเทศพบว่ามีลักษณะงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Karin Andersson และคณะ (1998) ได้ทำการผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ พิจารณาตั้งต่อการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การทำเกษตรกรรม ไปจนกระทั่งสิ้นสุดการผลิต การบรรจุหีบห่อ การบำบัดน้ำเสีย หรือเรียกว่าแบบ Cradle to Gate ส่วนการผลิตขวดซอส การผลิตหมึกพิมพ์ การผลิตกาวและ

สี มิได้นำมาพิจารณาด้วย ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่ได้จากโรงงาน การสัมภาษณ์ และรายงานด้านสิ่งแวดล้อม ในส่วนของการประเมินผลกระทบจะแบ่งออกเป็น ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) พบว่า ส่วนใหญ่มาจากกระบวนการแปรรูปการบรรจุหีบห่อเนื่องจากมีการใช้ไฟฟ้ามาก การเกิดฝนกรด (Acidification) เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการแปรรูป ปรากฏการณ์ที่ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Eutrophication) เป็นผลกระทบที่มาจากการเกษตรกรรม เพราะมีการเติมปุ๋ยทำให้เกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและไนโตรเจน นอกจากนี้ปุ๋ยยังมีสารโลหะหนักปนมาด้วยจึงสามารถเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ได้

Arnold Tukker (2000) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่าง การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) และการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) พบว่าการจัดทำ EIA นั้นเป็นการประเมินผลทางสิ่งแวดล้อมเฉพาะในส่วนของโรงงานว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมเฉพาะในส่วนของโรงงานว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ส่วนการจัดทำ LCA เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน ไปจนถึงการกำจัด นั่นคือการสิ้นสุดชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินผลกระทบแบ่งออกได้เป็น 3 ด้าน คือ ด้านผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ด้านผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา และด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ประโยชน์

Ofira Ayalon และคณะ (2000) ได้นำประโยชน์การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์มาใช้เปรียบเทียบในหลายมิติทางด้านนโยบายการจัดการขยะ ซึ่งใช้ภาชนะของเครื่องดื่มเป็นกรณีศึกษา ในประเทศอิสราเอล พิจารณาภาระสิ่งแวดล้อมตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้ และการกำจัด เปรียบเทียบกับความแตกต่างของผลิตภัณฑ์และตัวเลือกในการกำจัด เช่น การรีไซเคิล (recycle) เผา หรือ ฝังกลบ การศึกษานี้แสดงให้เห็นประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจน วิธีการเปรียบเทียบการเลือกบรรจุภัณฑ์ระหว่างขวด PET และกระป๋องอะลูมิเนียม ขวดแก้ว ในสถานที่บนพื้นฐานเดียวกัน เพื่อหาความเหมาะสมมากที่สุด อีกทั้งในพื้นฐานการเงินเดียวกัน คำนึงถึงข้อจำกัด และข้อเสียเปรียบของการประเมินการเงิน

Magdy Samuel (2002) ได้ทำการศึกษาเทคนิคใหม่สำหรับการรีไซเคิลเศษอะลูมิเนียม การรีไซเคิลโดยวิธีทั่วไป (Conventional methods) เป็นวิธีที่ต้องใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 6000 kcal/kg และค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลสูงมาก รวมทั้งมีมลพิษสูงอีกด้วย ใน

กระบวนการหลอมละลายเศษอะลูมิเนียมโดยวิธีการรีไซเคิลโดยวิธีทั่วไป จะทำให้เกิดเศษอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้นด้วยขั้นตอนการรีไซเคิลโดยวิธีทั่วไปและการรีไซเคิลโดยเทคนิคใหม่แสดงดังภาพที่ 2.2.1

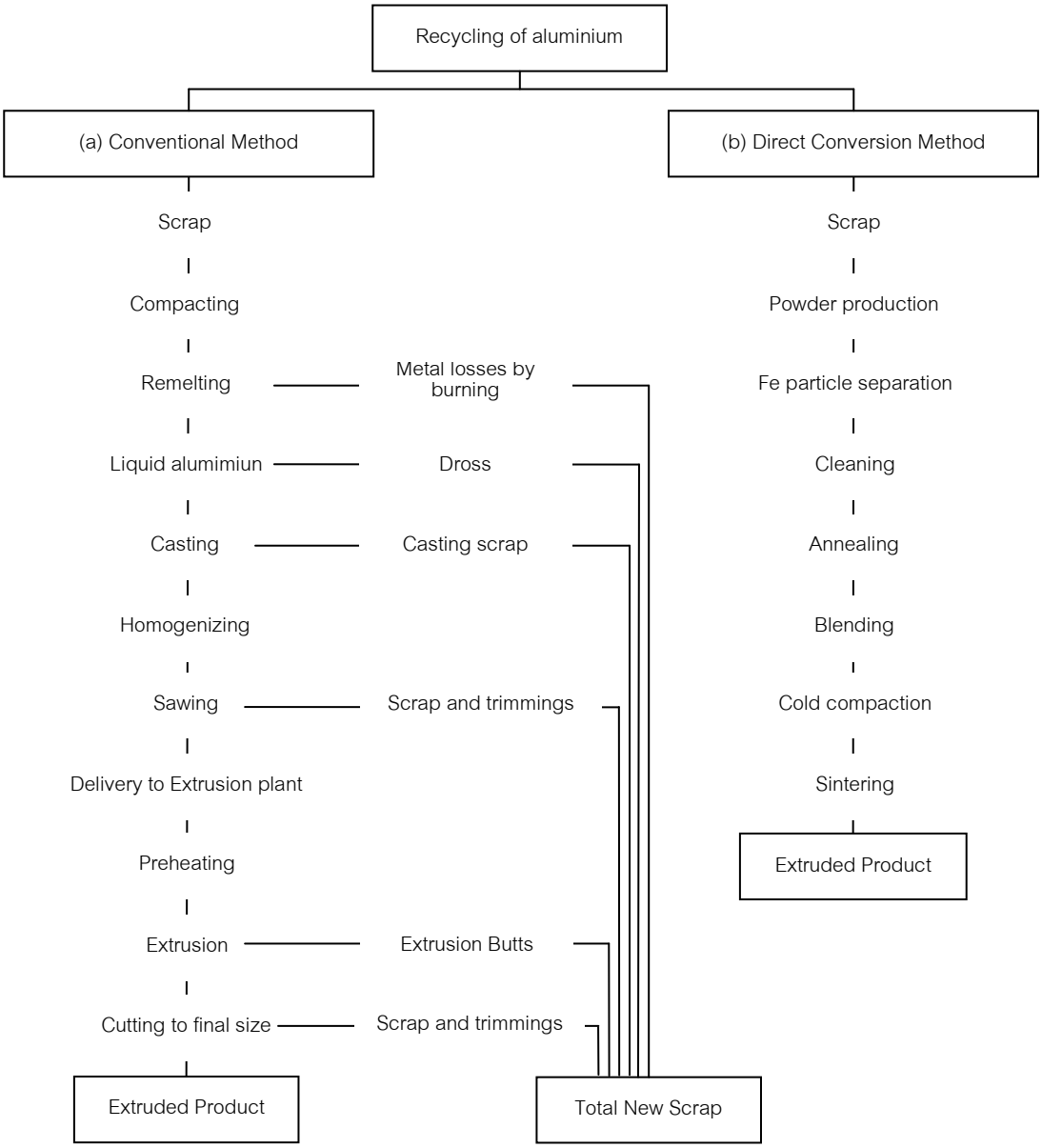
นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายต่างๆ พบว่าเทคนิคใหม่จะมีค่าใช้จ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการรีไซเคิลโดยวิธีทั่ว ๆ ไป และสามารถประหยัดวัสดุมากกว่า 96% แสดงดังตารางที่ 2.2.3

ตารางที่ 2.2.3

การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายระหว่างการรีไซเคิลโดยเทคนิคใหม่และโดยทั่วไป

	New technique	Conventional method
Energy consumption (kWh/t)	30	600
No. of operations (man hours/t)		
Labour of the product	2.4 – 6.5	12 – 16
Production of ingots	-	3
Production of billets	-	5
Production of final sections	-	4
Material saving (%/t)	96	52

ภาพที่ 2.2.1
ขั้นตอนการรีไซเคิลเศษอะลูมิเนียม a) โดยวิธีการทั่วๆไป b) โดยวิธีการแปลสภาพโดยตรง



Maxime Dominique และ คณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มของประเทศแคนาดา โดยประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจนั้นเหมาะสำหรับภาคอุตสาหกรรม ออกมาในรูปของมาตรฐานสิ่งแวดล้อม (ISO 14000 series) และ green label ถือเป็นตัวช่วยเสริมภาพลักษณ์ของบริษัทนั่นเอง ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจึงถูกใช้ในการกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายทั้งระยะสั้น และระยะยาวในการดำเนินการของผู้ผลิต

ภาคอุตสาหกรรมสามารถใช้ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เป็นเครื่องมือในการจัดแนวทางแนวคิดการผลิตสะอาด (Clean Production) และยังเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งทั้งหมดนี้ยังช่วยส่งเสริมภาพลักษณ์ของตราสินค้า และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศอีกด้วย

Rita และคณะ(2007) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตถั่วเขียวกระป๋องและถั่วเขียวแช่เย็น ณ รัฐโอเรกอน การประเมินนี้ได้เปรียบเทียบการผลิตในสถานที่เดียวกัน การใช้พลังงาน และแหล่งน้ำเหมือนกัน โดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบ พบว่า การคำนวณถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากถั่วเขียวแช่แข็งมีผลกระทบสูงกว่าการใช้การผลิตแบบบรรจุกระป๋อง ความแตกต่างระหว่างผลกระทบจากวิธีการถนอมอาหารทั้งสองอย่าง มีน้อยมากเกินกว่าที่จะสามารถนำมาระบุให้เป็นตัวเลขได้ แต่ที่ชัดเจนก็คือ การผลิตโดยการบรรจุกระป๋องดีกว่าการใช้การแช่แข็ง ดังนั้น การผลิตแบบบรรจุกระป๋อง มีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนและใช้ทรัพยากรน้ำมันน้อยกว่าการแช่แข็งถั่วเขียว ผลกระทบส่วนใหญ่ ได้มาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ในส่วนของการผลิตกระป๋องซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานในการผลิตเหล็ก สำหรับกรณีถั่วเขียวแช่แข็ง มีการใช้พลังงานส่วนใหญ่ในการทำความเย็นเพื่อเก็บรักษา

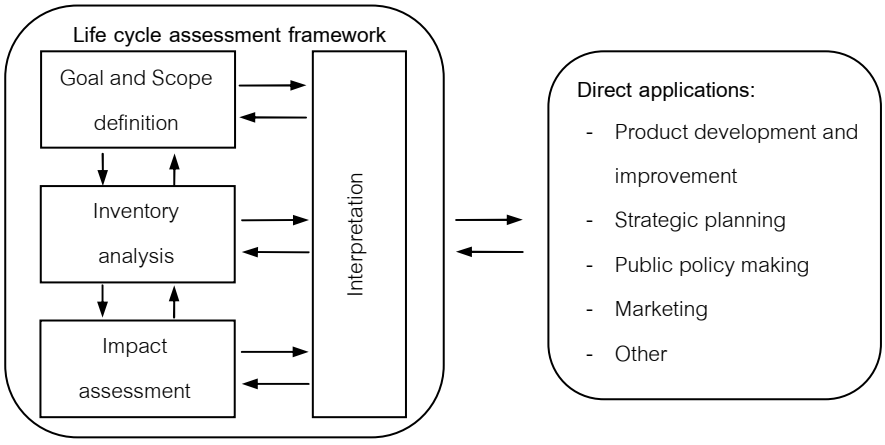
Imke J.M. de Boer (2008) รายงานว่าได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตนมแบบที่นิยมทั่วไป และแบบเกษตรอินทรีย์ Global warming potential ของการผลิตนมส่วนใหญ่ 48-65% มาจากการปลดปล่อยมีเทน การผลิตนมแบบเกษตรอินทรีย์นั้นจะทำให้มีการปลดปล่อยมีเทนมากขึ้นอยู่แล้วตามปกติธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถทำการลด Global warming potential ได้โดยการลดการปลดปล่อย CO_2 และ N_2O ซึ่งจะสามารถลด Global warming potential ได้เป็นอย่างมาก การผลิตนมแบบเกษตรอินทรีย์จะเป็นการลดการใช้ยาฆ่าแมลง แต่ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการใช้งานต่อตันนมที่ผลิต

Anneliese Anneliese และ Narodoslawsky Michael (2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยตัดสินใจในการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยไขมันสัตว์และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการวางแผนก่อนการออกแบบระบบการผลิตจริง เพื่อระบุถึงกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และหาแนวทางลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้มีขอบเขตตั้งแต่การได้มาซึ่งไขมันสัตว์และน้ำมันพืชใช้แล้ว การขนส่ง และการผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยการออกแบบในตอนแรกมีการ

วางแผนว่าจะใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิต แต่เมื่อทำการศึกษาด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นในการผลิต พบว่าหากใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification) แทนการใช้น้ำมันเตาจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ 30% และการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลดีกว่าการนำไขมันสัตว์มาเป็นวัตถุดิบ แต่เมื่อมองในด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการขนส่งเป็นปัจจัยสำคัญในการวางแผนโครงการต่างๆ เพื่อผลผลกระทบสิ่งแวดล้อม เช่น ที่ตั้งของโรงงาน จำนวนโรงงาน แหล่งวัตถุดิบ หรือรูปแบบขนส่งเพื่อการจำหน่าย ซึ่งการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตเข้ามาใช้ทำให้สามารถวางแผน และเปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งได้

Poritosh Roy และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาบทวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งอุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมอับดับหนึ่งของโลกมีการใช้พลังงานมหาศาล เป็นผลทำให้เกิดการปลดปล่อยของก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) ถือเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้ และการกำจัดผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่า ‘from cradle to grave’ ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพที่ 2.2.2

ภาพที่ 2.2.2
ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์



ที่มา International Standard ISO 14040:2006

ในการศึกษาวิจัยได้ทำการรวบรวมผลการประเมินวัฏจักรชีวิตภัณฑ์หลากหลายชนิดจากงานวิจัยต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เช่น การผลิตขนมปัง พบว่า วัตถุดิบในการผลิตขนมปัง คือ ข้าวสาลี ต้องใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกมาก และในการเพาะปลูกจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยไนโตรงเจน จึงส่งผลทำให้เกิดยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) การผลิตเบียร์ พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงในส่วนของการกรองและบรรจุภัณฑ์ ส่วนที่มีการปลดปล่อยน้อย คือ ส่วนการหมักและการเก็บเบียร์ ซอสมะเขือเทศถือเป็นประเด็นร้อน บรรจุภัณฑ์และกระบวนการผลิตเป็นจุดที่น่าสนใจ หลังจากทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แล้วได้นำมาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ทำให้ปัญหาฝนกรด (Acidification) ลดลง

การผลิตนมและเนื้อสัตว์ มีการศึกษามาในประเทศแถวยุโรป การผลิตนมสามารถลดการใช้สารกำจัดแมลงและศัตรูพืชและลดแร่กำมะถันในเกษตรกรรมได้ แต่ต้องการพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้น การเพาะปลูกเป็นประเด็นสำคัญที่ทำให้เกิดผลกะทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก มีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในการบรรจุภัณฑ์ การล้างสิ่งสกปรกต่างๆ และการทำความสะอาด หรือแม้แต่จำนวนของบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้วัตถุดิบในการผลิตมากถือเป็นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ที่ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Eutrophication) และฝนกรด (Acidification) ส่วนของการผลิตเนื้อสัตว์ผลกระทบส่วนใหญ่จากการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) สูงจากปศุสัตว์และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) การผลิตอาหารสัตว์เป็นผลให้เกิดภาวะโลกร้อน

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์การเกษตรอื่นๆ เช่น ข้าว หัวบีท (Sugar beet) มะเขือเทศ ซึ่งส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะเป็นส่วนที่เป็นปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้งานวิจัยยังได้รวบรวมการประเมินวัฏจักรชีวิตอื่นๆอีกมากมาย เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน น้ำ ระบบบรรจุภัณฑ์ และกระบวนการกำจัดของเสียต่างๆ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ครอบคลุมถึงนโยบายของผู้ผลิตทางด้านสิ่งแวดล้อม และผู้บริโภค ในการเลือกผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่ยั้งยืน ถึงแม้ว่าวิธีการ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ จะถูกปรับปรุงให้เป็นมาตรฐานสากลมากขึ้นเพื่อขยายไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติจริง การปรับปรุงความปลอดภัยของอาหารและลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ก็เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นกัน

สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย มีดังรายละเอียดต่อไปนี้

ฐิดายุ สุคนธมาน (2002) ได้ทำการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคเครื่องดื่มน้ำอัดลม ของบริษัทไทยน้ำทิพย์ จำกัด ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคเครื่องดื่มน้ำอัดลม และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของลูกค้าต่อการบริการของพนักงานบริษัทฯ ในการจัดส่งสินค้าตามร้านค้าต่างๆ ผลการวิจัยพบว่าส่วนใหญ่เพศ

ชาย อายุอยู่ระหว่าง 21-25 ปี มีการบริโภคสูงสุด กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีความถี่ในการซื้อน้ำอัดลมประมาณ 2-4 ครั้ง/สัปดาห์

Paoluglam Jirunya (2005) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโพลีสไตรีนและโพลียูรีเธน มีขอบเขตการประเมินครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการผลิต การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สู่ผู้บริโภค การใช้งานและการกำจัด พบว่า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโพลีสไตรีนและโพลียูรีเธนมาจากกระบวนการผลิตและการใช้งานเป็นส่วนใหญ่ สำหรับโพลีสไตรีนส่วนของสไตรีนโมโนเมอร์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนโพลียูรีเทนโฟม ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาจาก ไอโซไซยาเนตและโพลีอีเธอร์โพลีออล นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการผลิตโพลีสไตรีนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า โพลียูรีเธนโฟมถึง 1.5 เท่า

วิทยา กันยา (2008) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำการศึกษาด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากรต่างๆ และของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตน้ำตาลทรายแดงของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งการศึกษานี้ได้กำหนดหน่วยการทำงาน (functional unit) ที่ปริมาณน้ำตาลทรายแดง 1 ตัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Simapro version 7.1 ด้วยวิธีการ Eco-indicator 99 ในการประเมินผลกระทบ จากผลการศึกษาพบว่าการผลิตน้ำตาลทรายแดงนั้นส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ 9.27×10^{-4} DALY มีผลต่อระบบนิเวศวิทยา 34.34 PDF•m^2yr และมีผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร 1.85×10^{3} MF surplus และยังแสดงให้เห็นว่ากระบวนการตกผลึกก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง

เจนจิรา พุทธวรชัย (2009) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องโดยใช้ผลิตภัณฑ์กาแฟกระป๋องเป็นกรณีศึกษา การใช้พลังงานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง หรือทำให้เกิดภาวะโลกร้อน มากกว่าการใช้น้ำ หรือการผลิตของเสีย ด้วยเหตุนี้เองการใช้พลังงานจึงเป็นสิ่งแรกที่จะต้องมีการศึกษา แนวคิดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอเพื่อช่วยในการดำเนินระบบให้ได้รับผลตอบแทนสูงสุด ได้แก่ การจัดรูปแบบการทำงานของหม้อไอน้ำ การรวมศูนย์ของระบบทำความเย็น และการปรับปรุงระบบการทำเยือกแข็งและการทำน้ำแข็ง แนวคิดเหล่านี้จึงถูกนำมาประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในกระบวนการบรรจุกระป๋องของเครื่องดื่ม ผลแสดงให้เห็นว่าการจัดรูปแบบการทำงานของหม้อไอน้ำ เป็นวิธีการที่ดีที่สุด ในการที่จะเลือกนำไปใช้ เนื่องจากประหยัด และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าการใช้น้ำ และการผลิตของเสียไม่ได้แสดงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่สูงนัก แต่ก็ยังต้องมีการควบคุมและควรที่จะนำไปพัฒนาในลำดับต่อไป