บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันนี้ กระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกำลังเป็นที่ตื่นตัวมากในสังคมโลก โดยในส่วนของทางภาคอุตสาหกรรมได้หันมาสนใจมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม ISO 14000 เนื่องจากการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้ถูกนำมาเป็นกลยุทธ์สำคัญ ในการแข่งขันทางธุรกิจของบริษัทหลายแห่ง ทั้งนี้เพราะผู้บริโภคได้หันมาให้ความสนใจมากขึ้นในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมหรือการเพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างอาทิเช่น

1. Environmental product declarations (EPD)

คือ ระบบ และโปรแกรมสำหรับการประกาศข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินการเพื่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลดังกล่าวถูกจัดขึ้นตามพารามิเตอร์ที่อ้างอิงจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 และข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่นๆ โดยเป้าหมายของ EPD คือ การสื่อสารที่สามารถตรวจสอบได้ และการมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประเด็นสิ่งแวดล้อมของสินค้า และบริการที่ถูกต้อง โดย EPD จะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบการแสดงออกถึงความใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลนั้นสามารถสะท้อนให้เห็นถึงการพัฒนาเพื่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ยังสามารถแสดงข้อมูลที่เป็นลูกโซ่ของผลิตภัณฑ์นั้นอีกด้วย

2. การแยกประเภทของฉลากผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม

ฉลากผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน ISO 14000 ในปัจจุบันถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 (TYPE I) ได้แก่ ฉลากสิ่งแวดล้อมที่มอบให้บุคคลที่ 3 โดยใช้ข้อกำหนดหลายๆ อย่าง เช่น ประหยัดพลังงาน สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ไม่ก่อให้เกิดสารพิษ เป็นต้น เพื่อเป็นการแสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นได้ผ่านการพิจารณาโดยหน่วยงานที่เป็นอิสระแล้วว่า มีคุณสมบัติที่เน้นคุณค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเปรียบเทียบให้ผู้บริโภคเลือกใช้เมื่อมีสินค้าประเภทเดียวกันจำหน่ายเป็นจำนวนมาก

ประเภทที่ 2 (TYPE II) ได้แก่ ฉลากสิ่งแวดล้อมที่ผู้ผลิตเป็นผู้คิดใช้ขึ้นเอง (Self declaration) เพื่อเป็นการโฆษณา หรือประกาศว่าผลิตภัณฑ์ หรือบริการของตนไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

ประเภทที่ 3 (TYPE III) ได้แก่ ฉลากที่แสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่น อาหาร หรือยา โดยได้มีการทดสอบโดยบุคคลที่ 3 หรือหน่วยงานที่เป็นอิสระแล้ว

มาตรฐาน ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับฉลากผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม

มาตรฐาน ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับฉลากผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมมีด้วยกัน 6 ฉบับ คือ

ISO 14020 : Environmental Labels and Declarations – General Principles

ISO 14021 : Environmental Labels and Declaration – Self – declaration environmental claims – Terms and definition

ISO 14022 : Environmental Labels and Declarations - Self – declaration environmental claims – Symbols

ISO 14023 : Environmental Labels and Declarations - Self – declaration environmental claims – Testing and verifications methodologies

ISO 14024 : Environmental Labels and Declarations – Environmental labeling Type I – Guiding principles and procedures

ISO 14025 : Environmental Labels and Declarations – Environmental labeling Type III - Guiding principles and procedures

3. การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment; LCA)

การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือ การรวบรวม และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิต โดยเริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การผลิต การเก็บ การใช้ การทิ้ง และการกำจัด หรือคิดหาผลกระทบของผลิตภัณฑ์ จากเกิดจนหมดอายุ (cradle – to grave) โดยมักพิจารณาในแง่ของการใช้ทรัพยากร สุขภาพอนามัยมนุษย์ และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เป็นต้น

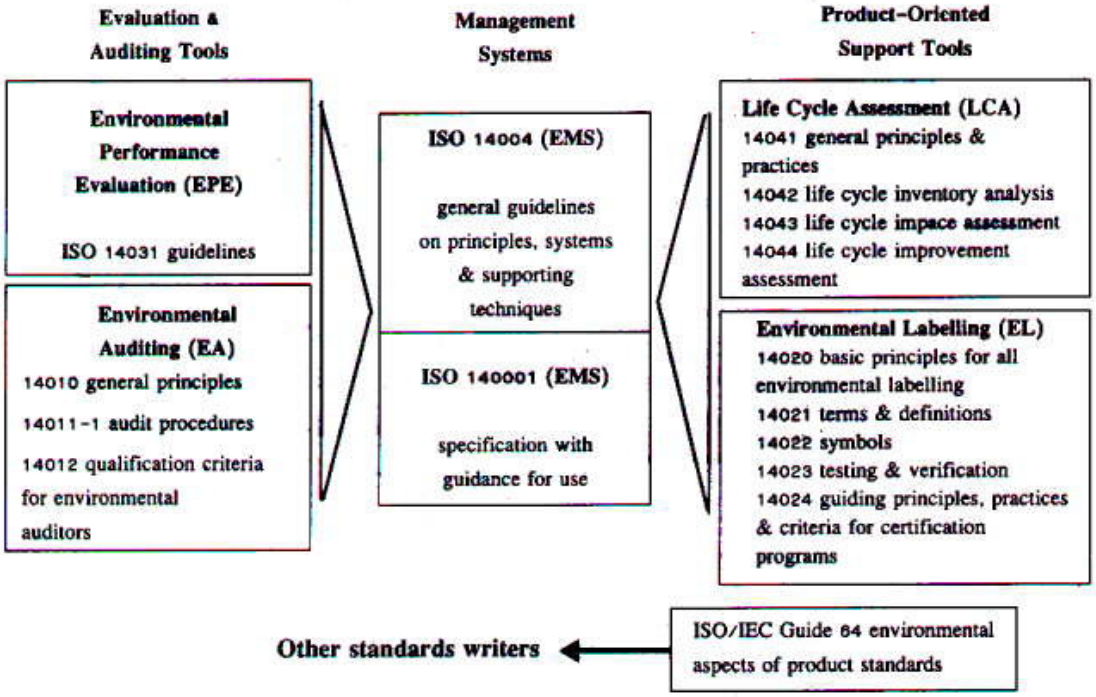
มาตรฐาน ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ มาตรฐาน ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ มีด้วยกัน 4 ฉบับ คือ

ISO 14040 : Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principle and framework

ISO 14041 : Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis

ISO 14042 : Environmental Management – Life Cycle Assessment – Impact assessment

ISO 14043 : Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life cycle interpretation



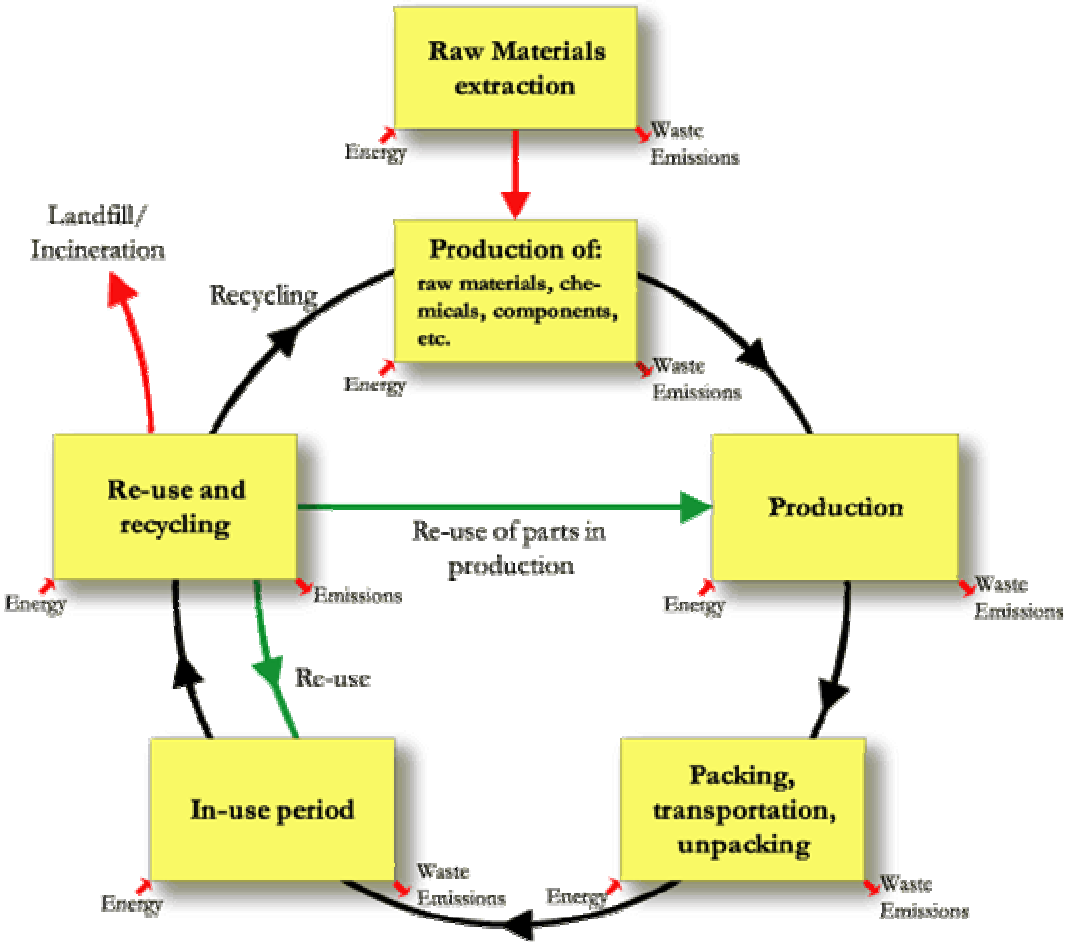
ภาพที่ 2.1

แสดงมาตรฐานหมวด ISO14000

(ที่มา : การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) เครื่องมือเพื่อการผลิตสินค้าสีเขียว (Eco-product),ผู้แต่ง : รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 18 มี.ค. 2551,หน้า 14)

จากตัวอย่างการเพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 วิธีที่กล่าวข้างต้น ในบทนี้จะขอกล่าวรายละเอียดเพียงแค่หัวข้อการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment ; LCA) เนื่องจากเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน

2.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2.2

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment)

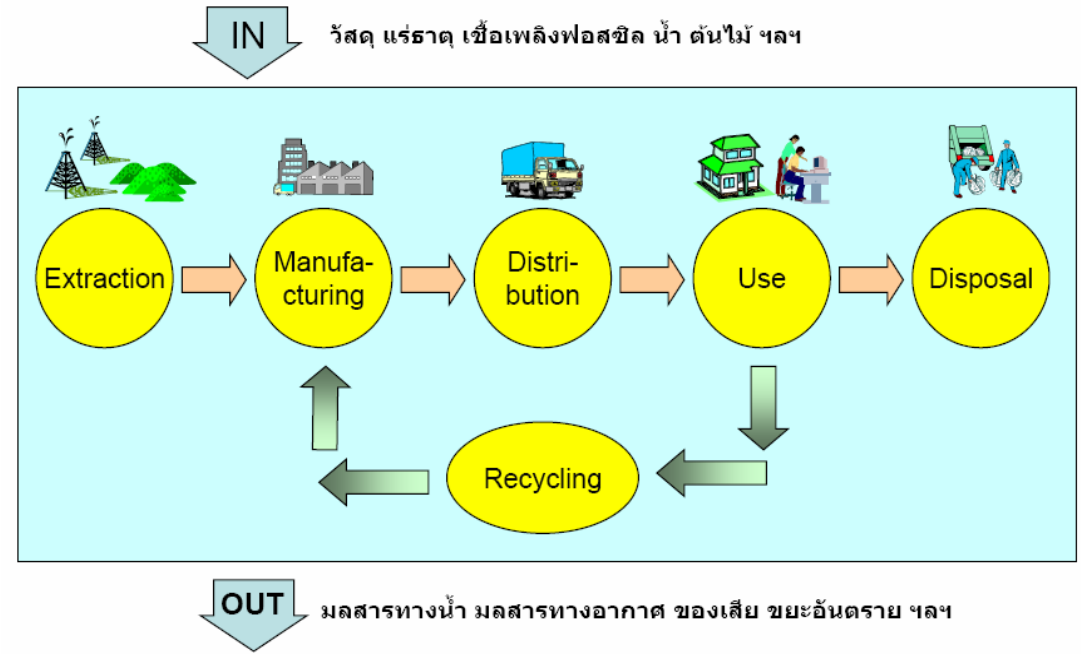
(ที่มา : http://www.ecodesignguide.dk/html_pages/tutorial/tutorial/tut_back_lca.html)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึง

ปริมาณของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหากระบวนการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร”

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ได้ระบุนิยามของ LCA คือ “กระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณารวมถึงกระบวนการผลิต รวมถึงกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องในลักษณะวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะรวมถึงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการต่างๆ ในการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการนำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยที่ยึดหลักของระบบนิเวศวิทยา, สุขอนามัย และการนำทรัพยากรสิ้นเปลืองมาใช้เป็นหลัก โดยไม่คำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์และสังคมศาสตร์มากนัก



ภาพที่ 2.3

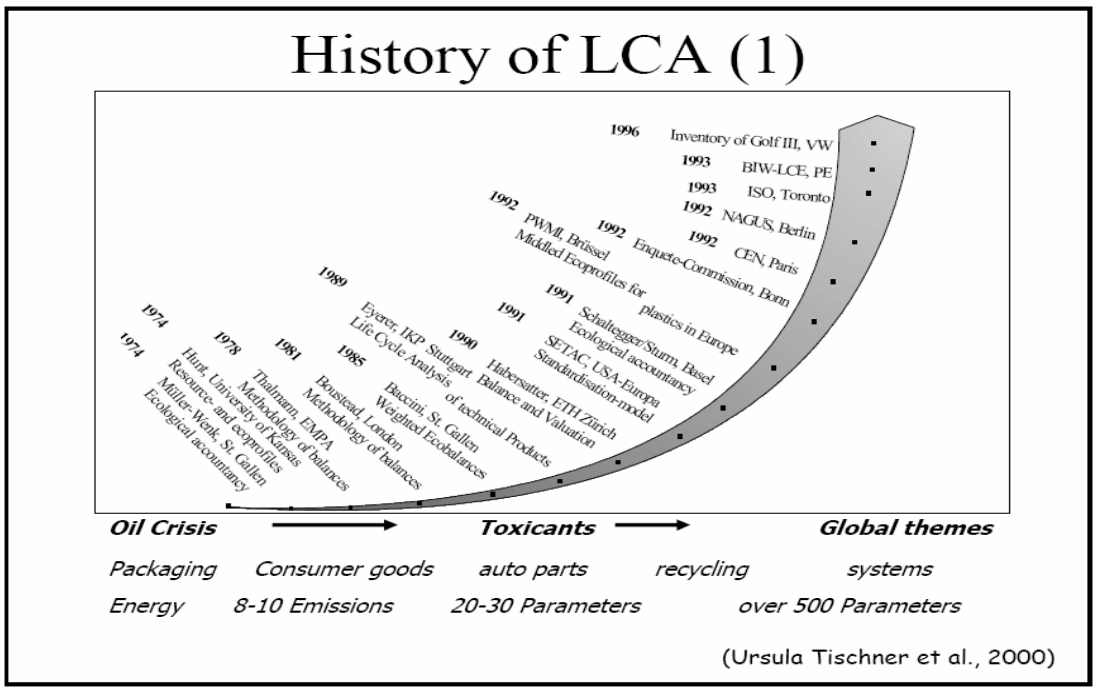
วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

(ที่มา : ผลกระทบจากการจัดซื้อจัดจ้างสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในเชิงสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม , ผู้แต่ง : ธภัทร ศิลาเลิศรักษา)

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาใช้ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือของกระบวนการผลิต หรือของการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (EcoDesign)

2.2 **ที่มาของการประเมินวัฏจักรชีวิต** (Life Cycle Assessment: LCA)

สืบเนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 ทำให้ประเทศต่างๆ มีนโยบายการประหยัดพลังงานซึ่งส่งผลต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงถูกพัฒนาขึ้นและขยายรวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการแพร่มลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น ต่อมาภาครัฐของประเทศต่างๆ ได้ให้ความสนใจในการศึกษานี้มากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกันเช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น และการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น



ภาพที่ 2.4

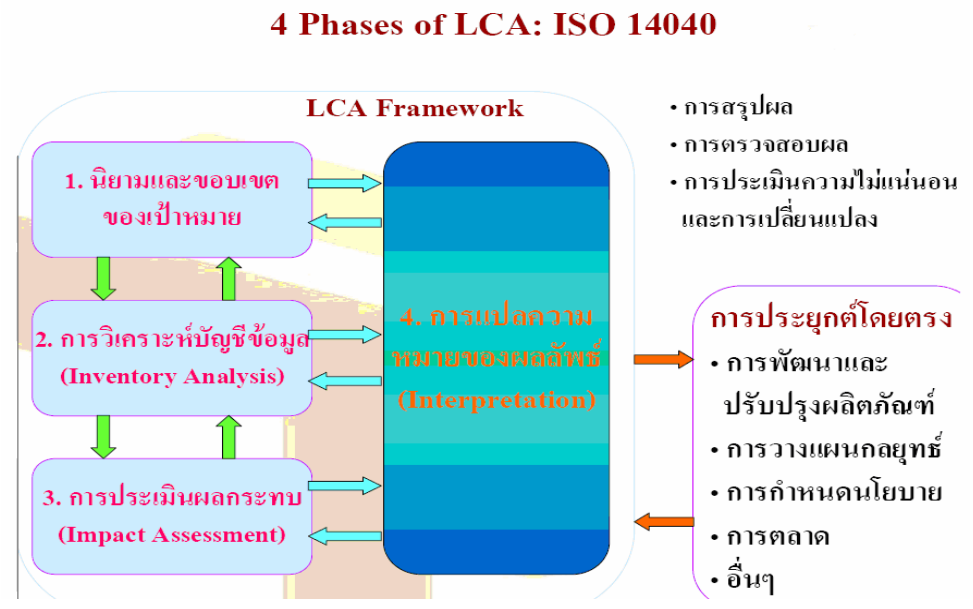
ประวัติของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment)

(ที่มา:http://www.thaieei.com/eipcontent/news1/ins_news/ecodesign310304/pp/DrPomthong.ppt)

เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment) ถูกใช้ในหลายองค์กรและบริษัท อย่างไรก็ดีมันไม่ได้รับความนิยมมากนักจนกระทั่ง ในปี 1990 หลายองค์กร นำโดย SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) และ ISO ได้นำกลับมาใช้อีกครั้งโดยมีการพัฒนาปรับปรุง วิธีการต่างๆ ให้เป็นมาตรฐานมากขึ้น ซึ่งทำให้ LCA ได้รับความนิยมมากในยุโรป

2.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีอยู่ คือ LCA เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน ทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไปและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา แต่ LCA จะเป็นการมองผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น มากกว่าที่จะมองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา



ภาพที่ 2.5

ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment)

(ที่มา: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) เครื่องมือเพื่อการผลิตสินค้าสีเขียว (Eco-product),ผู้แต่ง : รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ,18 มี.ค. 2551,หน้า 22)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การกำหนดขอบเขตเป้าหมาย (Goal and Scope definition)
2. การวิเคราะห์รายการ (Inventory Analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การแปลผลการประเมินวัฏจักชีวิต (Interpretation)

2.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope)

การกำหนดขอบเขตเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกของ LCA มีประเด็นหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

- จุดมุ่งหมาย (goal)
- ขอบข่าย (scope)
- ฟังก์ชัน (functional unit)
- คุณภาพข้อมูล (data quality)

2.3.1.1 จุดมุ่งหมาย (Goal)

จุดมุ่งหมายจะต้องระบุผลของการใช้ ผู้ใช้ ในการที่เราจะหาจุดมุ่งหมายนั้น จำเป็นต้องเข้าใจรายละเอียดต่างๆ เป็นอย่างดี ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจของการศึกษารายละเอียดและการสรุปผลรายงาน เพราะจุดมุ่งหมายจะทำให้เราสามารถแยกแยะความสำคัญ ของส่วนต่าง ๆ ในเนื้อหาได้

2.3.1.2 ขอบข่าย (scope)

ในการพิจารณาขอบข่ายของระบบเราจะพิจารณา ส่วนต่าง ๆ ต่อไปนี้

- ฟังก์ชันของระบบ
- ฟังก์ชันการทำงาน
- ระบบที่เราสนใจศึกษา
- ขอบเขตของระบบ
- ข้อมูลที่ต้องการ
- สมมติฐาน
- ข้อจำกัด
- อื่น ๆ

ขอบข่ายจะช่วยให้เรารับประกันได้ว่าเราจะสามารถไปสู่จุดมุ่งหมายได้ อย่างถูกต้องสมบูรณ์

2.3.1.3 **ฟังก์ชัน** (Functional unit)

อาจกล่าวได้ว่า ฟังก์ชันเป็นพื้นฐานของ LCA เพราะฟังก์ชันนั่นเองที่เป็นตัวเปรียบเทียบ หรือตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์เดียว มีหลายคำจำกัดความดังนี้

- ฟังก์ชันเป็นมาตรฐานของ input และ output ที่เป็นกลาง ฟังก์ชันของระบบจะให้ความหมายและการวัดที่กระจ่าง ซึ่งผลของการวัดนี้ก็จะใช้เป็นคำตอบต่อไปได้
- การเปรียบเทียบระหว่างระบบ จะกระทำได้ด้วยฟังก์ชันที่พื้นฐานเหมือน ๆ กัน

ลักษณะสามประการที่เราจะต้องกล่าวถึงเมื่อพูดถึงฟังก์ชัน

1. ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
2. ความคงทนของผลิตภัณฑ์
3. คุณสมบัติพื้นฐาน

2.3.1.4 **คุณภาพข้อมูล** (Data quality)

คุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้ในกระบวนการ LCA จะนำมาซึ่งคุณภาพของข้อสรุปที่ได้ จาก LCA คุณภาพของข้อมูลสามารถที่จะให้รายละเอียดได้ต่าง ๆ ซึ่งสำคัญที่ว่าข้อมูลนั้นจะให้รายละเอียดและสามารถประเมินได้อย่างมีหลักเกณฑ์

ขั้นตอนนี้มีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา จึงนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะถ้าการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมดีพอ จะทำให้การประเมินสารที่เข้าและสารที่ออกจากระบบ หรือประโยชน์ที่จะได้รับจากการปรับปรุงระบบนั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น

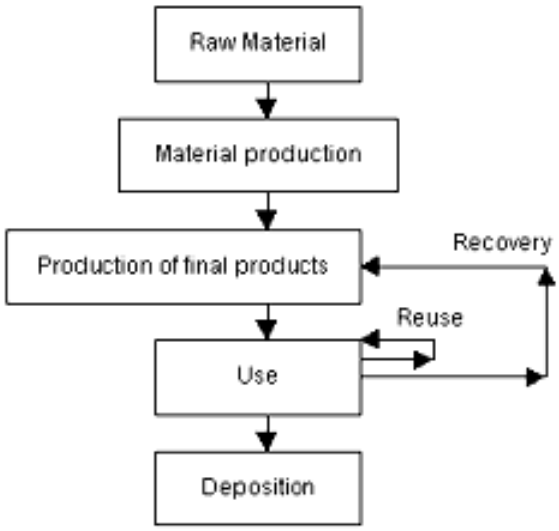
2.3.2 **การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม** (Life Cycle Inventory)

เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำ และดิน

การวิเคราะห์รายการเป็นเฟสที่สองของกระบวนการ LCA ที่จะเกี่ยวข้องกับประเด็นต่อไปนี้

- การคัดเลือกข้อมูล (Data Collection)
- การกลั่นกรองขอบเขตระบบ (Refining system boundaries)
- การคำนวณ (Calculation)
- การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Validation of data)

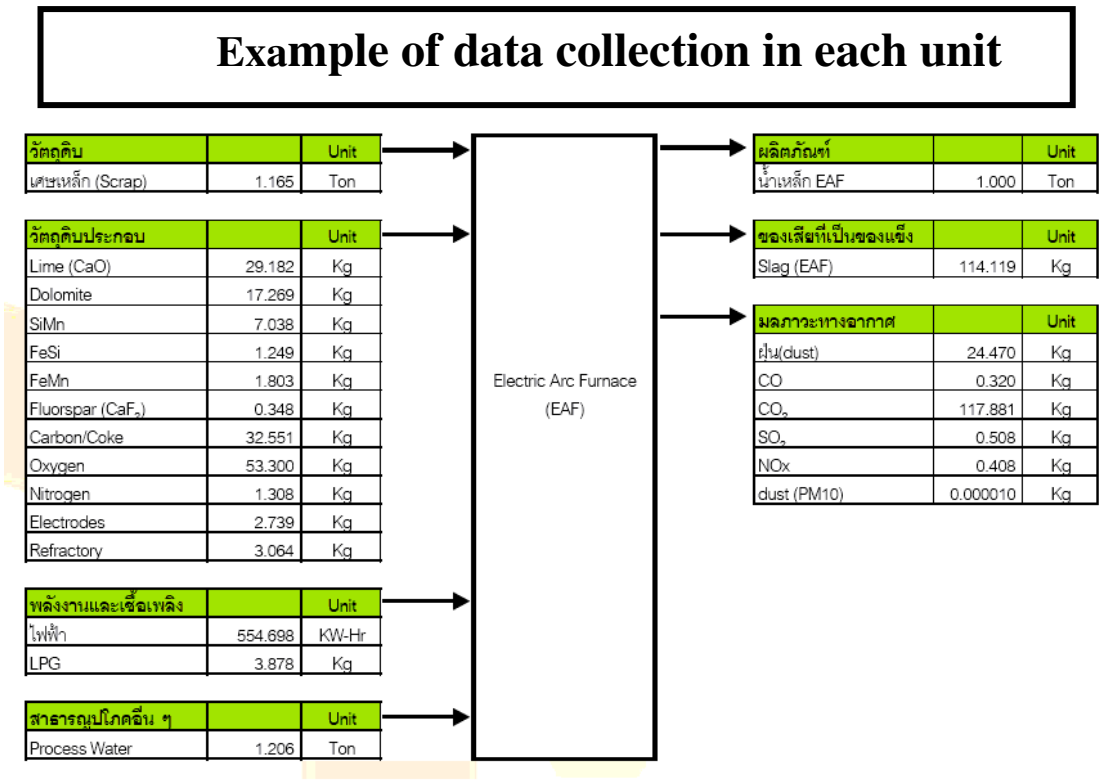
- การเชื่อมโยงข้อมูลที่สัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ ของระบบ (relating data to the specific system)
- การลงบัญชี (allocation)



ภาพที่ 2.6
ตัวอย่าง Simple flow sheet ที่ใช้ในการคัดเลือกข้อมูล
(ที่มา : http://doi.eng.cmu.ac.th/Thai_LCA_Network/history.html)

2.3.2.1 **การคัดเลือกข้อมูล** (Data Collection)

กระบวนการวิเคราะห์รายการจะรวมถึงการคัดเลือกและจัดการกับข้อมูลของวัตถุดิบที่ใช้ ของเสีย และสิ่งที่แพร่กระจายสำหรับทุกเฟสของ Life cycle โดยข้อมูลสามารถจัดหาได้จากหน่วยงาน สถานที่ต่าง โดยข้อมูลต้องคัดเลือกจากทุกกระบวนการ ข้อมูลเหล่านี้สามารถให้รายละเอียดทั้งคุณภาพและปริมาณ โดยข้อมูลเชิงปริมาณมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบกระบวนการหรือวัตถุดิบต่าง ๆ แต่บ่อยครั้งที่ข้อมูลเชิงปริมาณนี้จะไม่สามารถให้รายละเอียดในส่วนคุณภาพได้ดีนัก



ภาพที่ 2.7

ตัวอย่าง data collection in each unit process

(ที่มา: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) เครื่องมือเพื่อการผลิตสินค้าสีเขียว (Eco-product) ผู้แต่ง : รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 18 มี.ค. 2551,หน้า 27)

2.3.2.2 **การกลั่นกรองขอบเขตระบบ** (Refining system boundaries)

กระบวนการนี้จะกำหนดส่วน Scope definition procedure หลังจากคัดเลือกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว กระบวนการนี้สามารถกลั่นกรอง ผลที่ได้จากการตัดสินใจของ exclusion life stages or sub systems ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการวิเคราะห์ที่ละเอียดอ่อน

2.3.2.3 **กระบวนการคำนวณ** (Calculation procedure)

กระบวนการคำนวณสามารถที่จะกระทำได้โดยหลายวิธี ซึ่งรวมถึงการใช้ Spreadsheet หรืออื่นๆ นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ LCA จำนวนมากที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองงานโดยเฉพาะ ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามชนิด และจำนวนข้อมูลของงาน อาทิเช่น

- Inventory per functional unit = $Q_i = T \cdot \sum_{up} Q_{i,up} + \frac{T}{L} \cdot \sum_{p} Q_{i,p}$

โดยที่ Q_i = ผลรวมของการแลกเปลี่ยนสถานีปลายทาง (i) ต่อหน่วยฟังก์ชัน

T = ความต่อเนื่องของหน่วยฟังก์ชัน (ปี)

L = ระยะเวลาชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ปี)

$Q_{i,p}$ = สถานีปลายทางแลกเปลี่ยนจากประมวลผล(p); p มีเครื่องหมาย ทั้งหมด processes ยกเว้น ใช้ประมวลผล

$Q_{i,up}$ = สถานีปลายทางแลกเปลี่ยนต่อ ปีจากใช้ประมวลผล

-- พลังงานทั้งหมด = น้ำหนัก (กก) x พลังงาน (เมกกะจูล/กก.)

= ระดับ (ตร.ม/เวลา) x เวลาชีวิต (เวลา) x ค่าพลังงาน (เมกกะจูล/ตร.ม.)

= อุปกรณ์ไฟฟ้า (กิโลวัตต์/เวลา) x เวลาชีวิต (เวลา) x ค่าพลังงาน (เมกกะจูล/ตร.ม)

= น้ำหนัก(กก.) x รถส่งสินค้า(กม.) x ค่าพลังงาน(เมกกะจูล/ตัน-กม.)

2.3.2.4 **การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล** (Validation of data)

กระบวนการนี้ต้องควบคุมระหว่างกระบวนการคัดเลือกข้อมูลจนถึงการปรับปรุงข้อมูลสรุป ข้อมูลที่ได้อย่างมีหลักเกณฑ์อาจจะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลต้องปรับปรุงหรือข้อมูลที่ใกล้เคียงกันในกระบวนการอื่น ๆ

2.3.2.5 **การเชื่อมโยงข้อมูล** (Relating data)

พื้นฐานของสิ่งที่ป้อนเข้า (Input) และผลลัพธ์ที่ได้ (Output) บ่อยครั้งที่ได้จากโรงงานในแต่ละ unit เครื่องจักรหรือน้ำเสียนั้นมักไม่ค่อยจะสัมพันธ์กับกระบวนการผลิต ในการพิจารณาผลิตภัณฑ์โดด ๆ แต่บ่อยครั้งที่ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกันนั้นจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต

2.3.2.6 **การบัญชีรายการ** (Allocation and recycling)

เมื่อเราจัดการ LCA ในระบบที่ยุ่งยาก อาจทำให้ไม่สามารถประเมินและได้ผลลัพธ์ทั้งหมดตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดย

1. เพิ่มขอบเขตของระบบ (system boundary) โดยรวมสิ่งที่ป้อนเข้าและผลลัพธ์ที่ได้ที่มีทั้งหมดเข้าไว้

2. จัดทำรายการที่มีความสัมพันธ์ในการศึกษาการประเมินผลกระทบ

2.3.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)

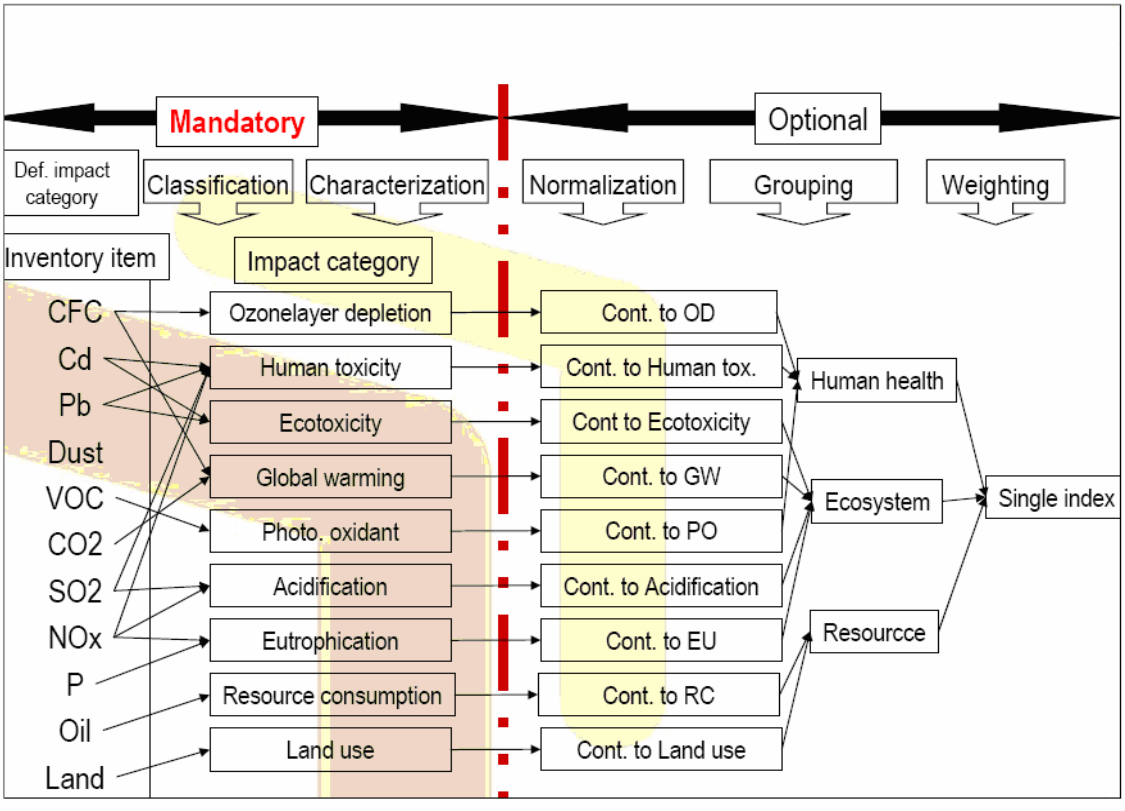
เป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย หรือสารขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ประเภทของผลกระทบมี 2 ประเภท คือ

1. ผลกระทบทั่วไป คือ
   - สภาวะที่โลกร้อนขึ้น
   - การสูญเสียโอโซน
   - ความเป็นกรด
   - ความเค็ม
   - ความแห้งแล้ง
   - ความหลากหลายทางชีวภาพ
   - ภาวะพืชน้ำเจริญผิดปกติ
2. ผลกระทบเฉพาะที่ คือ
   - การสูญเสียทรัพยากรชีวภาพและกายภาพ
   - ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์
   - ความเป็นพิษต่อมนุษย์
   - การเกิด SMOG

<u>การประเมินผลกระทบเป็นเฟสที่สามของ LCA ซึ่งมีประเด็นหลัก ๆ ดังนี้</u>

- การกำหนดชนิด ,ประเภท (category definition)
- การจำแนกประเภท (classification)
- การกำหนดบทบาท (characterization)
- การให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (valuation, weighting)



ภาพที่ 2.8

The Flow of Life Cycle Impact Assessment

(ที่มา: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) เครื่องมือเพื่อการผลิตสินค้าสีเขียว (Eco-product) ผู้แต่ง : รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 18 มี.ค. 2551, หน้า 30)

2.3.3.1 การกำหนดประเภท (category definition)

จุดประสงค์ของการกำหนดประเภทคือ การตระเตรียมทางเลือกของประเภทของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ซึ่งประเภทของผลกระทบ ที่ควรพิจารณา ได้แก่

- จากแหล่งอชีวภาพ (A biotic resources)
- จากแหล่งชีวภาพ (biotic resources)
- ที่ดิน
- ปัญหาโลกร้อน
- ปัญหาการลดลงของโอโซน
- ของเสียจากมนุษย์

- ปัญหาที่เกิดจากกรด
- อื่น ๆ

2.3.3.2 **การจำแนกประเภท** (Classification)

การจำแนกมีจุดมุ่งหมายเพื่อจำแนก สิ่งที่ป้อนเข้าและผลลัพธ์ที่ได้ ที่ได้จากการกำหนดประเภทการจำแนกประเภท คือ ขั้นตอนการจำแนกวิเคราะห์ คุณสมบัติเชิงคุณภาพของผลกระทบที่สัมพันธ์กัน การจำแนกประเภทต้องแสดงสิ่งที่ป้อนเข้าและผลลัพธ์ที่ได้ในส่วนของบัญชีข้อมูลหรือรายการข้อมูลไปสู่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยตรง

2.3.3.3 **การกำหนดบทบาท** (Characterization)

การกำหนดบทบาทนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อแสดงประเภทของผลกระทบในเทอมของการดรรชนี และสามารถที่จะเตรียมพื้นฐานสำหรับกลุ่มของ สิ่งที่ป้อนเข้าและผลลัพธ์ที่ได้ ของบัญชีข้อมูล ได้ด้วย ซึ่งผลลัพธ์ของ Characterization นี้จะเป็นการแบ่งแยก ประเภทที่แสดงถึงภาระทางสิ่งแวดล้อมเริ่มต้น (initial loading) และข้อมูลการลดลงของทรัพยากร

2.3.3.4 **การให้น้ำหนักของผลกระทบ** (Valuation or Weighting)

การให้น้ำหนักนั้นมีจุดประสงค์เพื่อการจัดอันดับ การเลือก จัดกลุ่มผลลัพธ์ของประเภทผลกระทบที่ต่างกัน การให้น้ำหนักนี้ไม่เป็น เทคนิค หรือหลักการ อย่างไรก็ตามการให้น้ำหนักนี้อาจจะนำไปประยุกต์อย่างมีแบบแผนทางวิทยาศาสตร์ได้ หรือรวมไปถึงเทคนิคการคิดที่เป็นวิธี

โดยการให้น้ำหนักนี้อาจพิจารณาปัจจัยพื้นฐาน 3 ประการ ดังนี้

1. แสดงความสัมพันธ์เบื้องต้นขององค์กร กลุ่ม หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่าง ๆ
2. ต้องรับประกันได้ว่ากระบวนการนั้นเป็นไปได้, สามารถจัดเป็นเอกสาร รายงานได้
3. สามารถตั้งความสัมพันธ์ที่สำคัญของผลลัพธ์ที่เป็นรากฐานของประเภทผลกระทบได้

ซึ่งวิธีการให้น้ำหนักนี้ได้พัฒนาโดยสถาบันต่างๆ กันบนพื้นฐานที่ต่างๆ กัน ได้แก่

- Proxy Approach
- Technology abatement approach
- Monetarisation
- Authorized goals or standard
- Authoritative panel

การแปลความหมาย หรือการแปลผลทาง LCA (Interpretation)

เป็นการนำผลการศึกษามาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะที่มาจากผลการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาภาพแสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การแปลความหมายนี้เป็นเฟสหรือกระบวนการที่ 4 ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายของการทำ LCA ซึ่งเกี่ยวข้องกับประเด็นต่าง ๆ ต่อไปนี้

- การกำหนดประเด็นสำคัญต่างๆ เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินค่า
- การสรุปและการให้ความเห็น

ซึ่งเกี่ยวกับ การแปลความหมายนี้ ISO ได้นิยามไว้ 2 ลักษณะความหมายดังนี้

- การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ การทำงานที่เป็นระบบในการ กำหนด, คัดเลือก, ตรวจสอบ และการประเมินค่าข้อมูลจากการสรุปของ Inventory phase และทำการรายงานตามความมุ่งหมายของงาน
- การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการออกแบบการสื่อสาร ที่ให้เครดิตและผลลัพธ์ของเฟสต่าง ๆ ใน LCA ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการตัดสินใจ

การแปลความหมาย นี้ทำงานสัมพันธ์กับอีก 3 เฟสข้างต้นโดยอธิบายได้เป็นขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
2. ประเมินค่าอย่างสมบูรณ์ ละเอียดและเที่ยงตรง
3. ตรวจสอบว่าข้อสรุปที่ได้ตรงกับจุดประสงค์ รวมไปถึงสมมติฐานอื่นๆ หรือยัง
4. ถ้าสมบูรณ์แล้ว ก็สามารถรายงานข้อสรุปได้ ถ้ายังต้องกลับไปเริ่มที่ ข้อ 1.

การกำหนดประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (Identification of significant environment issues) ขั้นแรกเราจำเป็นที่จะต้องเลือกเงื่อนไขอย่างระมัดระวังและมีเหตุผลสนับสนุนที่ดี

- จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ การจัดโครงสร้างของข้อมูลจาก การวิเคราะห์บัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบให้สอดคล้องกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย

- ประเด็นสิ่งแวดล้อมจะเป็นสิ่งที่ป้อนเข้าและผลลัทธ์ที่ได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์บัญชีข้อมูลและ เครื่องวัดต่างๆ จะเป็นผลลัพธ์ของการประเมินผลกระทบ
- ประเด็นสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ จะถูกพบเพื่อแสดงให้เป็นผลลัพธ์ที่สำคัญ โดยจะต้องสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายตั้งแต่แรกด้วย

โดยขั้นตอนการกำหนด ฯ นี้จะรวมถึงการจัดโครงสร้างและรายงานความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ เช่น

- ผลลัพธ์จากเฟสต่างๆ แสดงข้อมูลจากการวิเคราะห์บัญชีข้อมูลในรูปแบบของตาราง รูปภาพ และผลของการประเมินผลกระทบ

- ทางเลือกต่างๆ ตามวิธีระบบหลักการ
- การประเมินค่าวิธีที่ใช้
- ระเบียบและการตอบสนองที่สำคัญจากส่วนอื่นๆ

<u>การตีค่า (Evaluation)</u>

- จุดประสงค์ของการตีค่าคือ การสร้างความเชื่อมั่นผลลัพธ์ที่ได้ จาก LCA โดยผลที่ได้จากแสดงให้ผู้ที่ทำการตรวจสอบได้ทำการตรวจสอบได้ง่าย สะดวกและเข้าใจ
- การตีค่าจะข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริงและตัวเลข สนับสนุนจากกระบวนการทั้งสามคือ
    1. การตรวจสอบความสมบูรณ์ (completeness check)
    2. การตรวจสอบสภาพ (sensitivity check)
    3. การตรวจสอบความสม่ำเสมอ (consistency check)

และเพิ่มเติมด้วยผลลัพธ์จาก

- การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (uncertainly analysis)
- การประเมินคุณภาพข้อมูล (data quality assessment)

2.4. **ตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม**

Eco-indicator 99 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความคิด ที่จะจัดกลุ่มตัวชี้วัดให้บ่งบอกถึงผลกระทบต่อสุขภาพและทรัพยากรธรรมชาติให้มากขึ้น ซึ่งจะแตกต่างกับEco-indicator 95 ตรงที่ว่า Eco-indicator 95 เป็นการกำหนดตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมที่แยกกลุ่มดัชนีตามลักษณะของผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง ถึงแม้ว่าEco-indicator 95 จะได้รับการพัฒนาอย่างมีหลักการ แต่ดัชนีที่ได้นั้นยังไม่คำนึงถึง ผลกระทบต่อสุขภาพ (แม้ว่าจะกำหนดให้มีสารที่เป็นพิษก็ตาม แต่ไม่บ่งบอกว่ามีอันตรายในระดับใด เพียงแค่ระบุปริมาณเท่านั้น) ไม่ระบุผลกระทบที่เกิด

จากการใช้ทรัพยากร ซึ่งจะทำให้ทรัพยากรหมดสิ้นไป และไม่คำนึงถึงความคงทนของผลกระทบ เนื่องจากสารบางประเภทมีการสลายตัวค่อนข้างเร็ว ทำให้มีผลกระทบน้อยกว่าสารที่มีความคงทนมาก

Eco-indicator 99 ถูกพัฒนาขึ้นภายหลัง โดยมีการจัดกลุ่มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมให้เหลือเพียง 3 ประการ คือ

1. ผลกระทบต่อสุขภาพ (Demerge to Human Health)

ตัวชี้วัดนี้พัฒนาขึ้นภายใต้ความคิดที่ว่า มนุษย์ควรจะต้องไม่ได้รับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ การผลิต และกิจกรรมใดๆ ทั้งในเวลาปัจจุบันและอนาคต ดังนั้นดัชนีผลกระทบต่อสุขภาพจึงพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมหรือสารที่เกี่ยวข้องในวัฏจักรชีวิต โดยการคำนวณผลกระทบจะอยู่ในรูปของ “จำนวนปีที่สูญเสียไป หรือ Disability – Adjusted Life Years, DALYs“

2. ผลกระทบต่อการคงอยู่ของสิ่งแวดล้อม (Demerge to ecosystem quality)

ตัวชี้วัดนี้พัฒนาขึ้นภายใต้กรอบความคิดที่ว่า สิ่งมีชีวิตควรจะไม่ได้รับผลกระทบทั้งในด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณ และการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ แสดงผลในรูปของ “สัดส่วนในการได้รับผลกระทบในระดับที่อันตราย (Potentially Affected Fraction, PAF) หรือสัดส่วนในการสูญหายไป (Potentially Disappeared Fraction, PDF) ของสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา” โดยการพิจารณาค่า PAF นั้นจะดูที่ผลกระทบของสารที่มีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity) และจะคำนึงถึงสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ (Aquatic) และในดิน (Benthic) เท่านั้น ส่วนการพิจารณาค่า PDF นั้น จะถูกที่ผลกระทบของ ฝนกรด (Acidification) สารอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) และการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ (Land use) เป็นหลัก และจะคำนึงถึงการหายไปของพืชเท่านั้น

3. ผลกระทบต่อทรัพยากร (Damage to mineral and fossil resource)

ตัวชี้วัดนี้พัฒนาขึ้นภายใต้ความคิดที่ว่า ธรรมชาติได้ให้ทรัพยากรแต่มนุษย์ชาติ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้ควรจะต้องคงอยู่ต่อไปในอนาคต ดังนั้นการพิจารณาถึงผลกระทบส่วนนี้จะเป็นการคำนึงถึงสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การพิจารณาถึงผลกระทบส่วนนี้จะเป็นการคำนึงถึงสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยคิดในรูปของพลังงานที่จำเป็นสำหรับการหาทรัพยากรมาชดเชยสิ่งที่ใช้ไปในปัจจุบัน (MJ Energy Surplus) แต่เนื่องจากความหลากหลายของทรัพยากรธรรมชาติ ทำให้ยังไม่สามารถที่จะหาค่าดัชนีที่ถูกต้องสำหรับทรัพยากรทุกประเภทได้ ดังนั้นในที่นี้ เราจะใช้เฉพาะทรัพยากรที่ให้พลังงาน กล่าวคือ หากมีการใช้พลังงานในวัฏจักรชีวิต ผลกระทบต่อทรัพยากรจะ

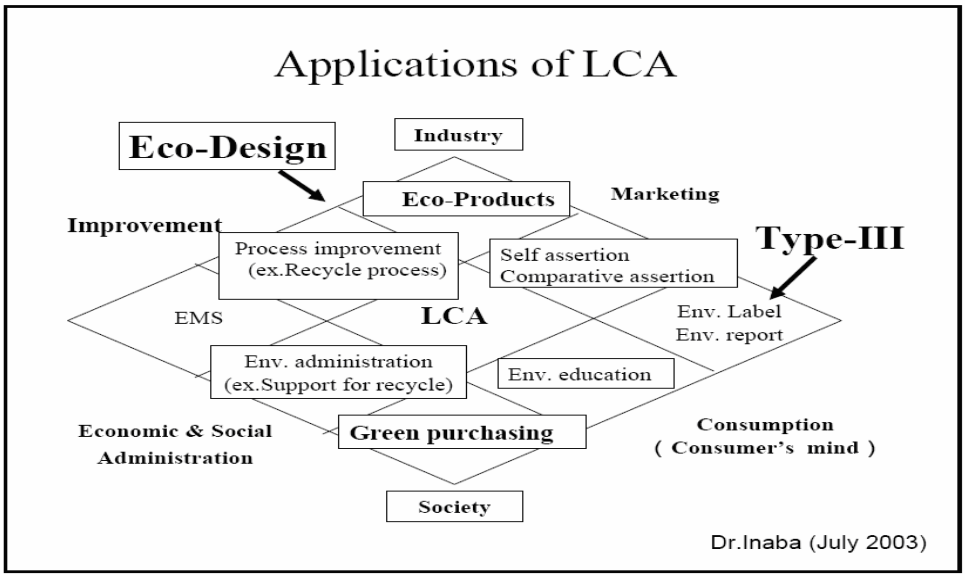
คำนวณในรูปของ “พลังงานที่ต้องการในการผลิตพลังงานในปริมาณเท่ากันในอนาคต (หน่วย MJ Energy Surplus)”

2.5 ข้อดีของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment)

- บ่งชี้ขั้นตอนหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- บ่งชี้ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดและแหล่งที่มาของผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณต่อหน่วยหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์สองอย่างที่ทำหน้าที่เหมือนกัน และยังสามารถใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือกในการจัดการสิ่งแวดล้อม

2.6 การประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment)

LCA สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมหรืองานวิจัยได้อย่างหลากหลาย โดยกลุ่มของผู้นำไปใช้งานอาจจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม/บริษัทเอกชน ภาครัฐ องค์กรเอกชน (NGOs) และผู้บริโภค โดยมีรูปแบบของการนำไปใช้งานอยู่ในตารางที่ 1



ภาพที่ 2.9

การประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment)

(ที่มา: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) เครื่องมือเพื่อการผลิตสินค้าสีเขียว (Eco-product) ผู้แต่ง : รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 18 มี.ค. 2551,หน้า 45)

ตารางที่ 2.1

รูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน LCA

(ที่มา:http://www2.mtec.or.th/th/special/ecodesign2008/lca_funda.html)

ภาคอุตสาหกรรม / บริษัทเอกชน	• ใช้สื่อสารให้ทราบถึงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ • ออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ • ใช้ต่อรองกับผู้จัดหาวัตถุดิบ (Supplier) ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น • พัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาด กลยุทธ์ด้านธุรกิจ และแผนการลงทุน • พัฒนากลยุทธ์ด้านนโยบาย • พัฒนานโยบายของผลิตภัณฑ์ • การจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3
ภาครัฐ	• เป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อกำหนดของฉลากสิ่งแวดล้อม • การพัฒนาและจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 • พัฒนาระบบการฝาก-การขอคืน (Deposit-refund systems) • ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อสนับสนุนเงินทุน หรือการจัดทำโครงสร้างภาษีอากร • พัฒนานโยบายทั่วไปของภาครัฐ
องค์กรเอกชน	• เป็นข้อมูลเพื่อเผยแพร่ต่อผู้บริโภค • เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุม/สัมมนาในเวทีสาธารณะ • ใช้ข้อมูลเพื่อกดดันภาคเอกชนและรัฐบาลในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม
ผู้บริโภค	• ใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์