บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือ Life Cycle Assessment: LCA เกิดขึ้นเริ่มแรกเนื่องมาจากการเกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน ในช่วงปี ค.ศ. 1970 ประกอบกับนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่างๆ นั้นดำเนินไปในการปลูกจิตสำนึกและการตระหนักถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมให้กับประชาชนมากยิ่งขึ้น การศึกษา LCA จึงถูกพัฒนาขึ้นควบคู่ไปกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการค้นคว้า และวิเคราะห์ความต้องการในการใช้พลังงาน (Energy consumption) ของทางภาคอุตสาหกรรมแต่ละประเภทอย่างละเอียด และต่อมาก็ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ทางด้านทรัพยากรอื่น ๆ รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการปล่อยมลพิษและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หรือการบริการตามไปด้วย การศึกษา LCA อย่างจริงจังเริ่มชัดเจนขึ้นในปี ค.ศ. 1980 เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการคือ

- การที่ภาครัฐของประเทศต่างๆ เริ่มนำผลจากการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้นทั้งในทางการค้าและการส่งเสริมทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อสังคม
- มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อนำผลที่ได้จาก LCA ของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกันทั้งในด้านความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่าง ๆ เช่น ปัญหาโลกร้อน และการลดลงของการใช้ทรัพยากรรมชาติ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เทคนิคที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นมีหลายวิธี ผลที่ได้จึงแตกต่างกันไปตามวิธีการ ข้อมูล การตีความของผู้ทำการวิเคราะห์หรือประเมิน รวมถึงการใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกันไป ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้ผลที่ได้ต่างกันแม้จะเป็นการวิเคราะห์หรือประเมินผลิตภัณฑ์เดียวกันก็ตาม จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้การกำหนดมาตรฐานในการจัดทำรายงานทางสิ่งแวดล้อมถูกจัดตั้งขึ้นมาอย่างเป็นสากล โดยการจัดการประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ เกี่ยวกับวิธีการ และหลักเกณฑ์การปฏิบัติสำหรับการทำ LCA โดยปัจจุบันอยู่ในการดูแลของสมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC)

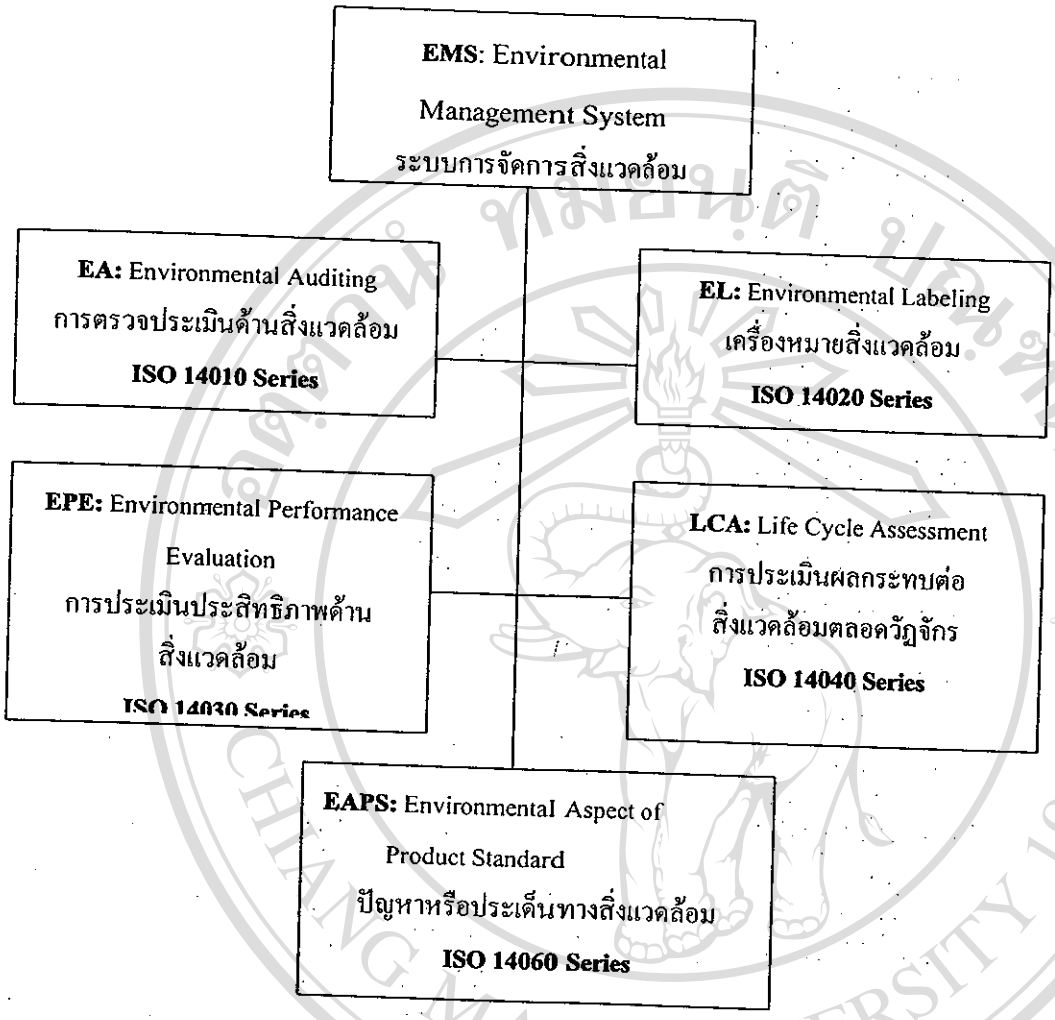
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

SETAC เป็นองค์กรนานาชาติแห่งแรกที่จัดทำผังโครงสร้างสำหรับการทำ LCA ซึ่งเป็นผังโครงสร้างที่เป็นรากฐานสำหรับการทำ LCA ในสถานศึกษา โรงงานอุตสาหกรรม และในองค์กรของรัฐ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการพัฒนาวิธีการทำ LCA ในหลายวิธีการในปัจจุบัน ซึ่งจุดมุ่งหมายของ SETAC คือการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องเฉพาะทางและการพัฒนาการประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ในด้านการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (อนุวัตร์, 2548)

ISO (International Organization for Standard) องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน ISO เป็นองค์กรเอกชนที่เป็นผู้ให้การรับรองด้านมาตรฐานที่เป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับทั่วโลก โดยที่เรารู้จักกันดี ได้แก่ การพัฒนา และกำหนดอนุกรมมาตรฐาน ISO 9000 ที่ว่าด้วยมาตรฐานการจัดการองค์กร หรืออนุกรมมาตรฐาน 14000 ที่ว่าด้วยการจัดการสิ่งแวดล้อม ในส่วนของ LCA นั้นจัดอยู่เป็นหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 และ 14001 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชุด ISO 14040 นั้นมีการกำหนดรูปแบบวิธีการและขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการศึกษา ดังนี้

- ISO 14040 - Principles and Framework เป็นมาตรฐานกล่าวถึงหลักการและกรอบแนวคิด
- ISO 14041 - Life Cycle Inventory Analysis เป็นมาตรฐานกล่าวถึงขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ
- ISO 14042 - Life Cycle Impact Assessment เป็นมาตรฐานกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- ISO 14043 – Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จาก LCI และ LCIA
- TR 14047 Illustrative examples on how to apply ISO 14042 - Life cycle assessment and Life cycle impact assessment เป็นรายงานแสดงการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- TS 14048-Data Documentation Format เป็นรายงานแสดงรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
- TR 14049 - Technical Report on "Illustrative examples on how to apply goal and scope definition and inventory analysis" เป็นรายงานการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



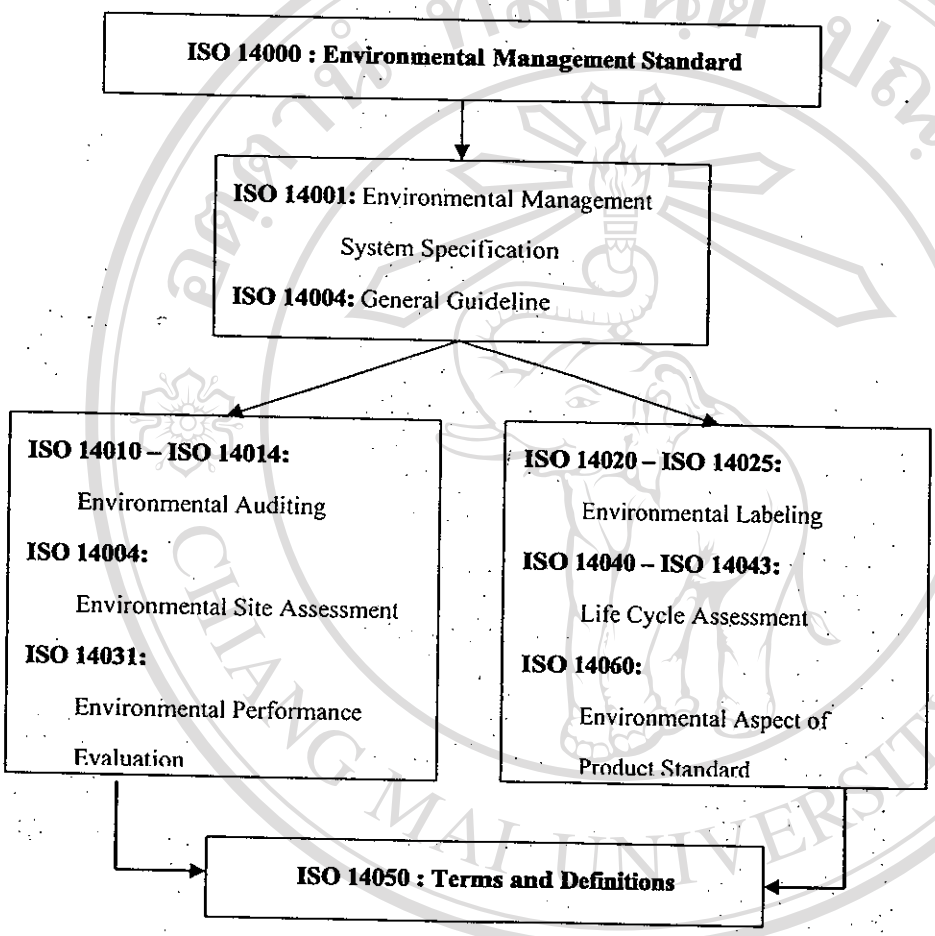
รูป 2.1 แสดงความสัมพันธ์ในอนุกรม ISO 14000 (S. Sate, 2005)

มาตรฐาน ISO 14000 นี้แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ แนวทางปฏิบัติรวมถึงข้อกำหนดของ ISO และคำนิยามที่เกี่ยวเนื่องกับแนวทางในการปฏิบัติหรือข้อกำหนดนั้น ๆ ซึ่งอนุกรมทั้งหมดของกลุ่ม ISO 14000 ยกเว้น ISO 14001 ที่เป็นแนวทางในการปฏิบัติในรูปของเอกสารเชิงบรรยายมากกว่าข้อกำหนด สำหรับระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ระบบมาตรฐาน ISO 14000 สามารถแบ่งหมวดหมู่ได้เป็น 2 กลุ่มดังแสดงในรูป 2.2 คือ

- ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System: EMS) การตรวจประเมินด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Auditing: EA) และการประเมินประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation: EPE)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- มาตรฐานการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product-oriented Standards Life Cycle Assessment: LCA) ได้แก่ เครื่องหมายทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Labeling: EL) และ ปัญหาสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspects in Product Standards: EAPS)



รูป 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของอนุกรม ISO 14000 ในแต่ละอนุกรม และความสัมพันธ์ของอนุกรมที่เกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตกับอนุกรมทั้งหมด (S. Sate, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับมาตรฐานของ ISO ในด้าน LCA นั้นให้ความสนใจทั้งในมุมมองด้านเทคนิค (Technical Aspects) และมุมมองด้านการจัดการในองค์กร (Organization Aspects) สำหรับมุมมองด้านการจัดการนั้นจะมุ่งเน้นในด้านการออกแบบกระบวนการที่เป็นจุดวิกฤติ ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และให้ความสนใจเป็นพิเศษต่อการเปรียบเทียบหาสิ่งที่เป็นประโยชน์เพื่อเปิดเผยสู่สาธารณชน นอกจากนี้ในมาตรฐาน ISO LCA ยังครอบคลุมเนื้อหาที่เกี่ยวกับการบริหาร

จัดการ กลยุทธ์ที่จะทำให้บรรลุถึงเป้าหมายวางไว้ รวมทั้งข้อกำหนดในการรายงานผล มาตรฐานที่เป็นตัวแสดงถึงการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Environmental Management-Life Cycle Assessment อีกด้วย

UNEP (The United Nations Environmental Program) โครงการด้านสิ่งแวดล้อมขององค์การสหประชาชาติ UNEP ได้นำ LCA ไปใช้ในการกำหนดกลยุทธ์ และนโยบายทางสิ่งแวดล้อม และได้ส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative และได้มีการเผยแพร่หลักการไปยังประเทศที่กำลังพัฒนาโดยได้นำเอา LCA ไปใช้ ปัจจุบันมีกลุ่มคนที่สนใจเรื่อง LCA หลาย ๆ กลุ่มทั่วโลก ได้รวมตัวกันเป็นกลุ่มสร้างความร่วมมือระหว่างกัน เช่น กลุ่ม LCA ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ CML ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของ UNEP อีกด้วย (อนุวัตร์, 2548)

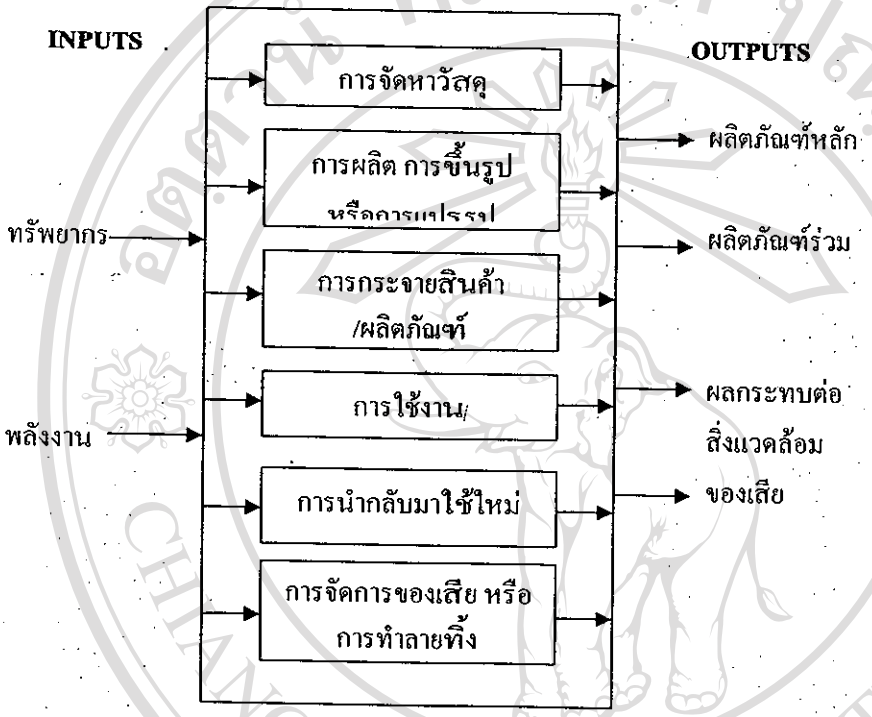
สำหรับในประเทศไทยมีหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ความสำคัญ สนับสนุน และเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เนื่องจาก LCA เป็นส่วนหนึ่งในอนุกรมมาตรการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 โดยเริ่มต้นจากการสัมมนาหรือประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมหรือ Thailand Business Council for Sustainable Development: TBCSD องค์กรเอกชนต่างๆ สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และกลุ่มนักวิชาการที่สนใจ สำหรับหน่วยงานราชการที่มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดัน การศึกษา LCA ในประเทศไทยได้แก่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และในปี พ.ศ. 2545 ได้เกิดการรวมกลุ่มของผู้สนใจศึกษา LCA ในประเทศไทยในชื่อ Thai LCA Network ซึ่งดำเนินการโดย อ. ดร. เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ความรู้ และเผยแพร่กิจกรรมต่าง ๆ ด้าน LCA โดยมีการดำเนินการผ่านทางเว็บไซต์ที่มีชื่อว่า http://www.thailca.net

2.2 นิยามและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การสกัดหรือได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรืออาจกล่าวได้ว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

LCA จะมีการพิจารณาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ตั้งแต่เกิดจนตาย (From cradle to grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูป 2.3 การพิจารณาวัฏจักรชีวิตของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในด้านการใช้วัสดุ การใช้พลังงาน และของเสียที่ออกจากระบบ (Thomas E. Graedel, 1998)

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (ISO) ได้ให้นิยามของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า *"เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต"* (ทนงเกียรติ และคณะ, 2548)

สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (SETAC) ได้ให้นิยามของ LCA ไว้ว่า *"เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยการพิจารณาครอบคลุมกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การ*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก" (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2549)

2.3 วัตถุประสงค์ในการทำ LCA

วัตถุประสงค์ของ LCA คือการรวบรวมและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ บริการ การใช้งาน หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำผลที่ได้จาก LCA ไปปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ ตลอดจนก่อให้เกิดการจัดการขึ้นอย่างเป็นระบบและยั่งยืน โดยใช้มุมมองทางสิ่งแวดล้อมมาสนับสนุนอีกทางหนึ่ง โดยการนำเอา LCA มาประยุกต์ใช้นั้นมีจุดมุ่งหมายหลัก 3 ประการซึ่งได้แก่

- **การปรับปรุงผลิตภัณฑ์** ผลที่ได้จาก LCA นั้นสามารถทำให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดทั้งหมดตลอดช่วงชีวิต ทำให้มองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างตรงจุด ทำให้สามารถตัดสินใจในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจน และสามารถวางแผนกลยุทธ์ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้ในทิศทางที่ถูกต้องต่อไป

- **การมองผลกระทบโดยรวม** สามารถมองภาพรวมที่เกิดขึ้นจาก LCA ได้ทั้งหมดและสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของผลกระทบ ตลอดจนปัญหาได้อย่างชัดเจน

- **เป็นการศึกษาที่ละเอียดและเป็นระบบ** เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถชี้ให้ถึงเหตุที่เกิดจากผลที่สามารถพิสูจน์ได้ โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นรูปธรรมหรือในเชิงปริมาณ จึงเป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือในการนำมาวิเคราะห์ ไม่ได้เป็นเพียงการตัดสินใจของผู้ที่ทำการศึกษาเท่านั้น

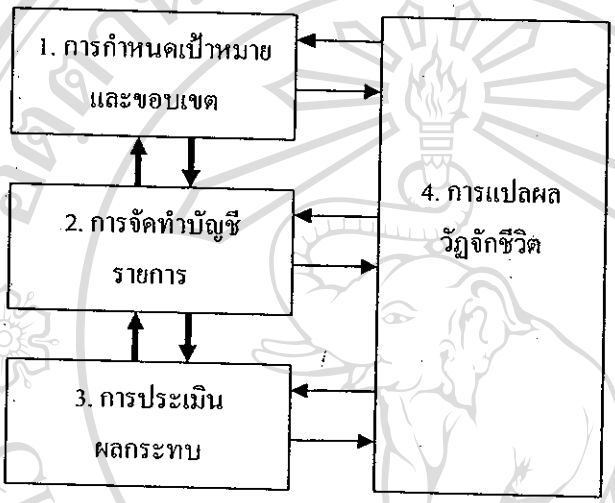
หรืออาจกล่าวได้ว่า วัตถุประสงค์หลักของการศึกษา LCA คือ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้น ๆ ตลอดจนกระบวนการที่เกี่ยวข้องหรือหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ และยังสามารถนำผลการวิเคราะห์มาเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบและตัดสินใจทั้งในการเลือกผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ โดยมีปัจจัยในทางสิ่งแวดล้อมเข้ามาประกอบการตัดสินใจอีกด้วย

2.4 ขั้นตอนในการศึกษาวัฏจักรชีวิต

เพื่อให้การดำเนินไปของ LCA เป็นไปในทิศทางเดียวกันและง่ายต่อการศึกษา จึงดำเนินตามขั้นตอนในการทำ LCA ดังรูปที่ 2.4 ตามโครงสร้างของ ISO 14040 (1997) ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษา LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)



รูป 2.4 ขั้นตอนในการทำ LCA ตามหลัก ISO (ISO 14040, 1997)

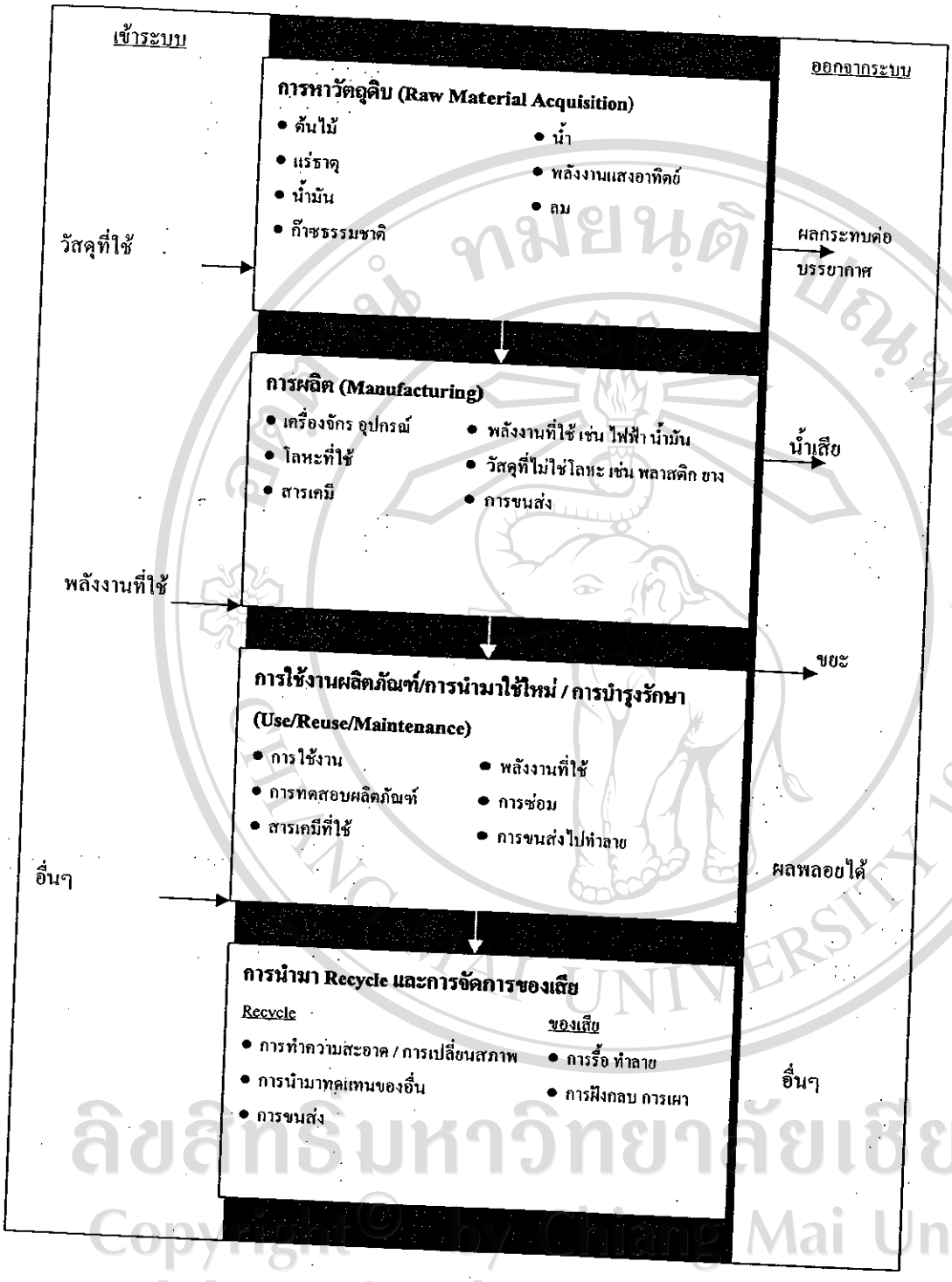
2.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมาย (Goal definition) คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ รวมทั้งพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษาลักษณะในการนำผลที่ได้ไปใช้ ไม่ว่าจะนำไปปรับปรุงกระบวนการ หรือนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการอื่น ๆ ภายใต้ขอบเขตที่เรากำหนดไว้ เป็นต้น

การกำหนดขอบเขต (Scope definition) คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและจำกัดรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งจะประกอบด้วย

2.4.1.1 ขอบเขตของระบบ (System boundary) หมายถึง ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนปัจจัย หรือกระบวนที่มีความเกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะเป็น วัสดุหรือพลังงาน ที่นำเข้าในระบบ ของเสีย หรือผลพลอยได้ที่ออกจากระบบ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.5 แสดงขอบเขตของระบบที่อาจกำหนดตามความต้องการขององค์กรตามความเหมาะสม (อนุวัตร์, 2548)

2.4.1.2 หน่วยการทำงานของระบบ (Functional unit) คือ หน่วยวัดผลงานของระบบที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหรือเป็นตัววัดค่าระหว่างผลิตภัณฑ์สำหรับสิ่งเข้า และสิ่งออกจากระบบ มีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้เปรียบเทียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระหว่างระบบที่ต่างกัน โดยลักษณะสำคัญของหน่วยการทำมี 3 คือ (1) บอกถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ (2) บอกถึงความคงทนของผลิตภัณฑ์ และ (3) บอกถึงคุณสมบัติพื้นฐานในการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่สามารถทำได้ด้วยการทำหน้าที่พื้นฐานของระบบที่เหมือนกัน

2.4.1.3 คุณภาพของข้อมูล (Data quality) คือ การกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการในการทำ LCA เพื่อเป็นพื้นฐานในการหาข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษา และทำให้เกิดการได้มาของข้อมูลที่เป็นระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องการใช้ผลของ LCA เพื่อเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน ลักษณะของข้อมูลที่ดีนั้นต้องมีความละเอียด และชัดเจน ซึ่งต้องสามารถระบุถึงการได้มาของข้อมูลว่าได้มาจากวิธีใด ไม่ว่าจะเป็นจากการเก็บข้อมูล การคำนวณ หรือเป็นการอ้างอิงข้อมูลจากที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว เป็นต้น

2.4.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory analysis)

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจรวมถึง ทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ หรือการปล่อยของเสียเข้าสู่ อากาศ น้ำ และดิน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การเก็บข้อมูลควรจะอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย สอดคล้องกับการไหลของกระบวนการ โดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ

- ต้องมีการคัดเลือกข้อมูลที่เหมาะสมทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ
- ต้องมีการกลั่นกรองขอบเขตของข้อมูลให้สอดคล้องกับระบบ
- ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณได้
- ความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลสูง มีความน่าเชื่อถือ
- สามารถทำให้เห็นถึงความสอดคล้องและเชื่อมโยงของข้อมูลที่ได้
- สามารถนำไปใช้ได้ในกรณีที่ต้องการปันส่วนของข้อมูล

สำหรับวิธีการเก็บและการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักของ ISO 14040 (1997) และ ISO 14041 (1998) การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกแบ่งออกเป็นขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (อนุวัตร์, 2548)

- การจัดเตรียมการรวบรวมข้อมูล
- รวบรวมข้อมูล
- ตรวจสอบและทวนสอบข้อมูลที่ได้เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง
- หาความสัมพันธ์กับหน่วยของกระบวนการ (Unit process)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

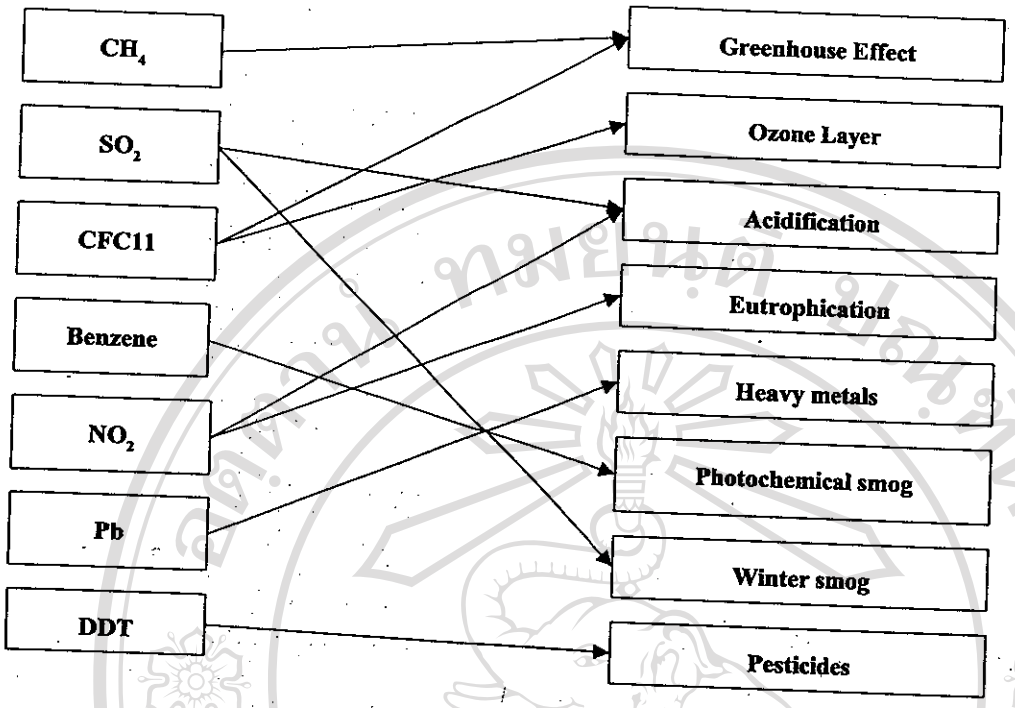
- หาความสัมพันธ์กับหน่วยวัดผลงานของระบบ (Functional unit)
- พิจารณาเรื่องการใช้พลังงานทดแทน และ การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (Allocation and recycling) เพื่อนำไปหักลบออกจากผลกระทบ
- สรุปผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์
- ปรับปรุงขอบเขตของระบบให้เหมาะสม

2.4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

ตามอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14042 (1998) ได้กำหนดวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตนั้นประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือการจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการให้เข้ากลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Selection of impact categories, Category indicators, and Characterization models) และการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณเองหรือการอาศัยการประเมินผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป จึงทำให้เกิดขั้นตอนนอกเหนือจากอนุกรมมาตรฐาน ISO กำหนด ซึ่งจะมีกี่ขั้นตอนนั้นก็ขึ้นกับวิธีการที่นำมาประเมินนั่นเอง สำหรับในงานวิจัยนี้ได้อาศัยการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้หลักการคำนวณโดยวิธี EDIP (Environmental Design of Industrial Products) ซึ่งมีขั้นตอนในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมดังนี้

2.4.3.1 การจำแนกประเภทและการกำหนดบทบาท (Classification and characterization) การจำแนกประเภท (Classification) คือขั้นตอนการจำแนกกลุ่มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลที่ได้ในการจัดทำบัญชีรายการหรือ LCI โดยจะดูถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลกับผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูป ซึ่งยกตัวอย่างได้แก่ NO_2 ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในด้าน การเกิดฝนกรด (Acidification) และ การเจริญเติบโตที่มากเกินไปของพืชชั้นต่ำในแหล่งน้ำ (Eutrophication) ดังรูป 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.6 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ (Goedkoop *et al.* ,1996)

การกำหนดบทบาท (Characterization) คือ การแปลงข้อมูลที่ถูกจำแนกประเภทว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมว่าเป็นทางด้านใดแล้วจากขั้นตอนที่ 1 ให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐานหรือที่เรียกว่า Equivalent or Characterization factors: EF โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$EP_j = \sum \left(Q_i \times EF_{ij} \right) \qquad (2.1)$$

EP_j = (Environmental impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ (kg substance equivalent)

Q_i = (Quantity of substance) คือปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} = (Equivalency factor) คือค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/ kg substance j)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3.2 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) คือ ขั้นตอนการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ศึกษา กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค ระดับโลก หรือกับผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ต้องการอ้างอิง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$NP_{j(product)} = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2.2)$$

$NP_{j(product)}$ = (Normalized environment impact potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆของผลิตภัณฑ์ (Person)

T = (Lifetime of product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Year)

ER_j = (Normalization reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

2.4.3.3 การให้น้ำหนัก (Weighting) คือ ขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไปขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting Factor: WF) ว่าเป็นเท่าใด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.3)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (2.3)$$

WP_j = (Weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for target year: Pt.)

WF_j = (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

สำหรับในวิธี EDIP นั้นได้ใช้ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ค่าที่ได้หลังจากขั้นตอนการให้น้ำหนัก เรียกว่า คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) โดยมีหน่วยวัดเป็น Pt. หรือ Person for target year หน่วยเดียวกับค่า NP_j ซึ่งหน่วย Pt. เกิดจากกระบวนการหาขนาดของผลกระทบที่ต้องการจะรวม ค่าในกลุ่มผลกระทบต่างที่มีหน่วยต่างกัน เช่น ภาวะโลกร้อนมีหน่วย kg CO_2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาวะการลดลงของชั้นบรรยากาศมีหน่วย kg CFC11 โดยการหาด้วยค่ากลาง ดังนั้นค่า Pt. จะเป็นการแสดงจำนวนเท่าของค่ากลาง จะสามารถรู้ว่าค่านั้นมีค่ามากหรือน้อยจะต้องทำการเปรียบเทียบกับค่ากลาง หรือใช้ในการเปรียบเทียบกับค่า Pt ด้วยกัน (Green camp, 2006)

2.4.4 การแปลผลเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Interpretation)

การแปลผลเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของ LCA คือ การนำเอาข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) และผลจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น (LCIA) มาสรุป รวบรวม ตีความหมาย และแปลค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบว่าในช่วงใดของวัฏจักรชีวิตที่เกิดผลกระทบมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบนั้นเป็นเท่าใด และสามารถทำให้ทราบถึงที่มาของผลกระทบนั้นเพื่อที่จะนำไปสู่ ผลสรุป และข้อเสนอแนะ ต่อไป ซึ่งในขั้นตอนการแปลความหมายของผลกระทบนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวัง และอยู่ภายใต้ของเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตที่ได้ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกด้วย

วัตถุประสงค์ของการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นก็เพื่อ จำแนกแนวทางและหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้อย่างตรงประเด็น หรือสามารถนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่สามารถทดแทนกันได้ โดยอาศัยมุมมองทางสิ่งแวดล้อมในการตัดสินใจต่อไป สำหรับขั้นตอนการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้น ประกอบด้วยขั้นตอนหลักสามขั้นตอนได้แก่

- การจำแนกทางเลือกในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะพิจารณาเลือกช่วงในวัฏจักรชีวิต ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากสุดเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการหรือปัจจัยที่เป็นสาเหตุเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขให้ผลกระทบลดลงต่อไป
- การวิเคราะห์เพื่อประเมินทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม โดยมองถึงความเป็นไปได้ถึงแนวทางทั้งหมดที่จะนำมาปรับปรุง ที่สอดคล้องกันกับกระบวนการ ทั้งในด้านเทคนิคและต้นทุนประกอบกัน เพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด
- คัดเลือกทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม โดยทำการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยเรียงลำดับจากวิธีที่เป็นไปได้มากที่สุด จากมากไปหาน้อยในการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบกับความเหมาะสมของเทคนิคและต้นทุนในทางเลือกนั้น ๆ โดยจัดทำเป็นบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผลที่ได้ให้ผู้เกี่ยวข้องทราบต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับความหมายของต้นทุน

ต้นทุน คือ จำนวนที่จัดได้ในรูปของเงินตราการจ่ายเงินสดหรือการโอนสินทรัพย์ให้ การออกหุ้นสามัญไป การได้รับบริการ หรือ การเกิดขึ้นของหนี้สินในการได้รับมาซึ่งสินค้าหรือบริการ

ในระบบบัญชีต้นทุนนั้นได้แบ่งต้นทุนในการผลิตสินค้าออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ ต้นทุนวัตถุทางตรง ค่าแรงทางตรง และค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าโสหุ้ยการผลิต ซึ่งแบ่งต้นทุนตามส่วนประกอบของสินค้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

- วัตถุทางตรง (Direct material) หมายถึง ต้นทุนของวัตถุที่เป็นส่วนหลัก หรือส่วนสำคัญในการผลิต สามารถวัดจำนวนได้โดยง่าย และมีค่าแน่นอน ซึ่งวัตถุทางตรงของผลิตภัณฑ์สามารถมีได้มากกว่า 1 ชนิด ขึ้นกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุในการทำเสื้อ ประกอบด้วยต้นทุนของผ้าและกระดุม เป็นต้น ซึ่งการวัดต้นทุนวัตถุทางตรงจะวัดจากปริมาณวัตถุที่ใช้ไป และวัดราคาต่อหน่วยของวัตถุที่ใช้ไป และอาจจะบวกด้วยต้นทุนที่สัมพันธ์กับวัตถุเข้าไปด้วย เช่น ค่าระวาง ค่าตรวจสอบ ค่าขนส่ง เป็นต้น

- ค่าแรงทางตรง (Direct labour) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการจ้างคนงานที่ทำการผลิตสินค้านั้น ภายในเวลาที่สามารถทำการผลิตได้ตามต้องการ เช่น ค่าจ้างคนงานในการตัดเย็บเสื้อผ้า เป็นต้น เวลานี้จะคิดเฉพาะเวลาที่เสียไปในการผลิตนั้น เวลาที่ล่วงไปโดยไม่เกิดผลผลิตจะถือว่าเป็นแรงงานทางอ้อม ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของโสหุ้ยการผลิต

- โสหุ้ยการผลิต (Manufacturing overhead) หรือค่าใช้จ่ายโรงงานเป็นต้นทุนทางอ้อม คือต้นทุนที่ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแยกได้ดังนี้

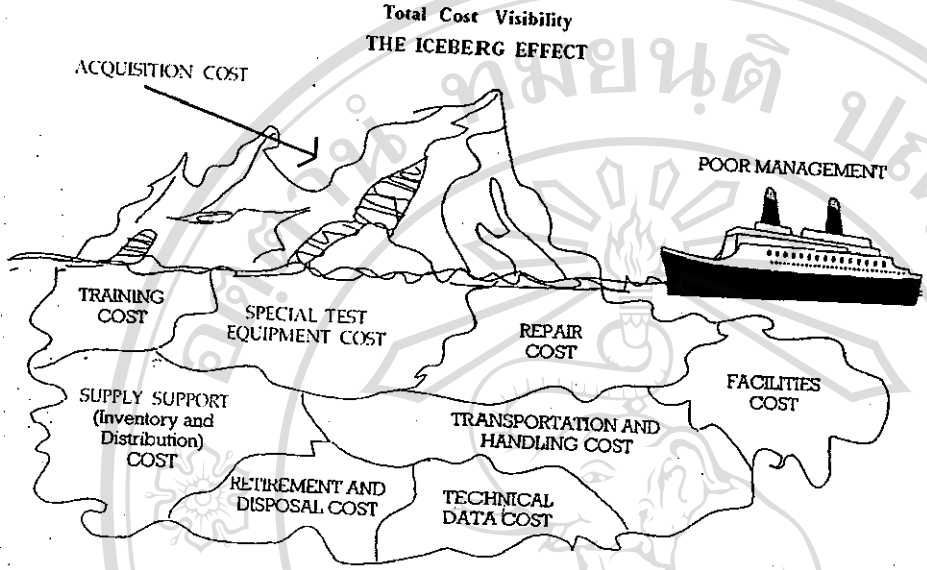
  - วัสดุทางอ้อม (Indirect material) คือวัสดุหรือวัตถุดิบที่ไม่สามารถคิดเข้ากับการผลิตได้ เนื่องจากมีจำนวนน้อยมาก หรือมีปริมาณไม่แน่นอน ไม่คุ้มค่า เกิดความยุ่งยากที่จะนำมาคิดเป็นวัตถุทางตรง เช่น ด้าย เป็นต้น

  - แรงงานทางอ้อม (Indirect labour) คือเวลาที่ล่วงเลยไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ ถือเป็นเวลาว่างเปล่า (Ideal time) (อิสรา, 2539)

จากความหมายและองค์ประกอบของต้นทุนดังที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า การคิดต้นทุนแบบเดิมนั้น จะมุ่งประเด็นในการคิดต้นทุนให้เห็นชัดเจนต่อหน่วยของการผลิตเป็นหลัก โดยค่าใช้จ่ายบางรายการนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับหน่วยการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร ค่าฝึกอบรม ค่าส่งเสริมการขาย เป็นต้น ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้อาจเป็นเพียงการประมาณการหรืออาจถูกมองข้ามไปทำให้ผู้ประกอบการนั้นไม่สามารถมองเห็นต้นทุนอื่น ๆ ที่ต้องแบกรับไว้ เนื่องจากต้นทุนต่อหน่วยการผลิตนั้นไม่ใช่ต้นทุนทั้งหมดที่แท้จริง จึงทำให้เกิด ปรากฏการณ์ภูเขาน้ำแข็งขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Iceberg effect) ดังรูปที่ 2.7 เมื่อประกอบกับการจัดการองค์กรไม่ดีแล้วอาจทำให้กิจการไม่สามารถดำเนินไปอย่างราบรื่นได้เนื่องจากแบกรับต้นทุนมากเกินไปนั่นเอง



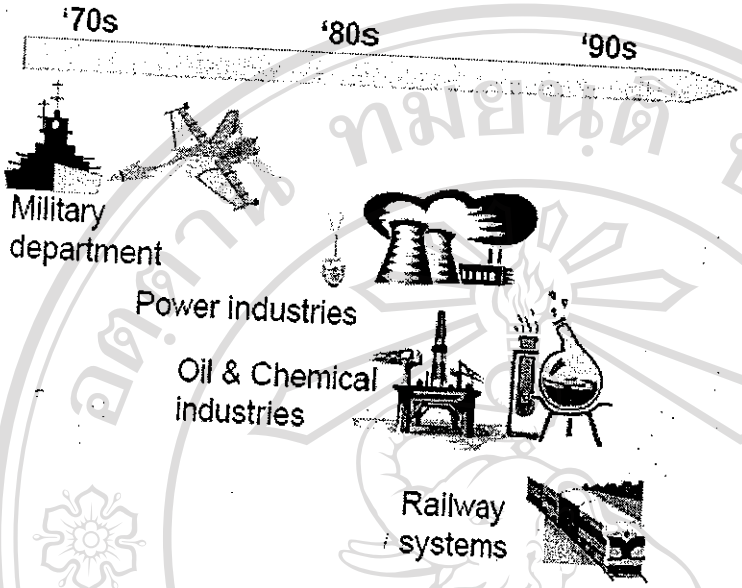
รูป 2.7 ต้นทุนที่มองไม่เห็นก่อให้เกิด ปรากฏการณ์ภูเขาน้ำแข็ง
(Total cost visibility: The iceberg effect) (HM Treasury PCPU Guidance)

2.6 ประวัติความเป็นมาของการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Costing: LCC)

การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตหรือ LCC นั้น เริ่มต้นมาจากแผนการทางการทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา US-Department of Defense (DOD) ที่นำเอา LCC มาใช้ในการประเมินต้นทุนในกิจกรรมทางการทหาร เช่น การขนส่งเคลื่อนย้ายคนและวัสดุรวมถึงการจัดการความต้องการวัสดุ อุปกรณ์ การดำเนินการทางการทหาร และการจัดซื้อต่างๆ และแนวคิด LCC ที่เกิดขึ้นในตอนนั้นก็เริ่มขึ้นในแผนการที่มีชื่อเรียกว่า Integrated Logistics Support: ILS นั่นเอง โดยแผน ILS นี้จะทำการประเมินอุปกรณ์ที่จำเป็นทั้งหมดภายในแผนการที่กำหนดของกองทัพ ว่าต้องการใช้อะไรบ้าง โดยจะเลือกที่สามารถนำมาใช้แล้วก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในราคาที่เหมาะสม รวมถึงการซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งาน โดยเฉพาะการจัดซื้ออาวุธ และเมื่อแผนนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็มีการนำไปใช้เป็นแนวทางหลักของกองกำลังทหาร และในช่วงปลายปีปี 1980s นั้นก็ได้มีการนำแนวคิดของการประเมินค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตนี้ไปใช้ ในภาคการอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน โรงไฟฟ้า อุตสาหกรรมผลิตเชื้อเพลิงและสารเคมี และการรถไฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังแสดงให้เห็นลำดับของการนำ LCC ไปประยุกต์ใช้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังรูป 2.8 จนกระทั่งปัจจุบันนี้ ก็ได้มีการนำเอา LCC มาใช้อย่างแพร่หลายในทุกภาคส่วนไม่เฉพาะในภาคอุตสาหกรรมเท่านั้น



รูป 2.8 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตเริ่มตั้งแต่ยุกต์ 70s-90s (Yoshi and Marvin, 1999)

2.7 แนวคิดและหลักการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

ตามปกติแล้วทรัพย์สินประเภทที่สามารถจับต้องได้ (Physical assets) นั้นจะมีอายุการใช้งานยาวนานนับตั้งแต่การจัดซื้อ ใช้งาน จนถึงการกำจัดหรือปลดทิ้ง Yoshio และ Marvin ได้แบ่งระยะช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดออกเป็น 3 ระยะหลักดังนี้

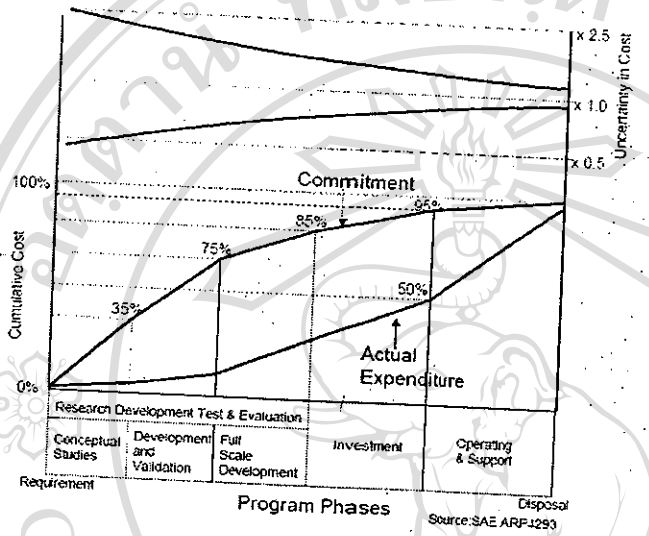
ระยะที่ 1 คือ ระยะของการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Research and development) ในระยะนี้เป็นช่วงเวลาที่องค์กรต้องใช้เวลา และงบประมาณในการสร้าง วิจัยค้นคว้า พัฒนา การตลาด ตลอดจนการทดสอบการนำไปใช้ว่าจะสามารถตอบสนองต่อการใช้งานจริงได้หรือไม่

ระยะที่ 2 เป็นระยะของการลงทุน (Investment) เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการแล้วก็จะดำเนินการต่อไปในด้านของการลงทุน เพื่อให้ได้มาซึ่งความพร้อมที่จะผลิตผลิตภัณฑ์นั้นออกสู่ตลาด ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะอยู่ที่การซื้อที่ดิน สิ่งปลูกสร้าง และเครื่องจักรเครื่องมือที่จำเป็นในการผลิต

ระยะที่ 3 เป็นระยะในการดำเนินการ (Operating and support) ระยะนี้จะดำเนินการผลิตสินค้าจริงออกขายค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะเป็น การซื้อวัสดุ การจ้างงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ อีกมากมาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในส่วนของค่าใช้จ่ายในแต่ละระยะจะเป็นเท่าใดนั้น ไม่ได้มีการกำหนดตายตัวเนื่องจากขึ้นกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป และขึ้นกับ ช่วงเวลา หรือปัจจัยทางเศรษฐกิจที่เข้ามาเกี่ยวข้อด้วย ดังรูปที่ 2.9 ที่แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างในการพิจารณาต้นทุนภายใต้ความไม่แน่นอน (Uncertainty in cost) ในระยะต่างๆ ของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่ง



รูป 2.9 แสดงตัวอย่างของปริมาณต้นทุนที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆ ของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Yoshi and Marvin, 1999)

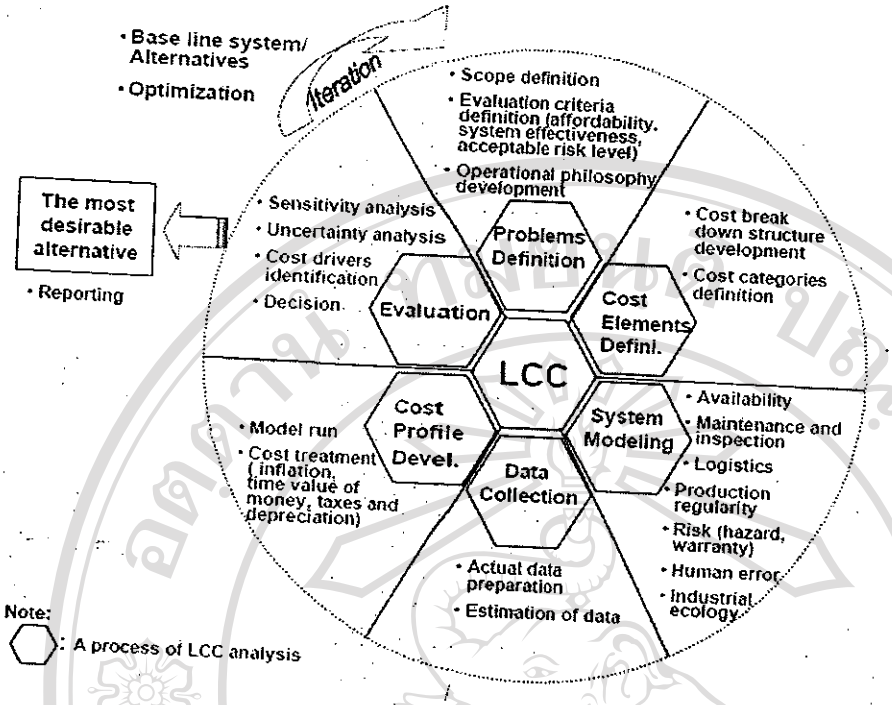
จากความหมายของต้นทุนแบบเดิมดังที่กล่าวมาแล้วนั้น การคิดต้นทุนให้ครอบคลุมทั้งสามระยะนั้นถูกมองข้ามไป เนื่องจากสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของต้นทุนการผลิตต่อหน่วยได้ยาก LCC จึงถูกนำมาใช้เพื่อสามารถทำให้มองเห็นต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2.8 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

สามารถแบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 6 ขั้นตอนดังรูป 2.10 ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Problem definition)
2. การกำหนดองค์ประกอบของต้นทุน (Cost element definition)
3. การกำหนดรูปแบบของระบบ (System modeling)
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)
5. การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ระบบ (Cost profile development)
6. การวิเคราะห์หรือประเมินต้นทุนของระบบ (Evaluation)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.10 แผนภาพการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต
(Hexagons surrounding LCA concept map)

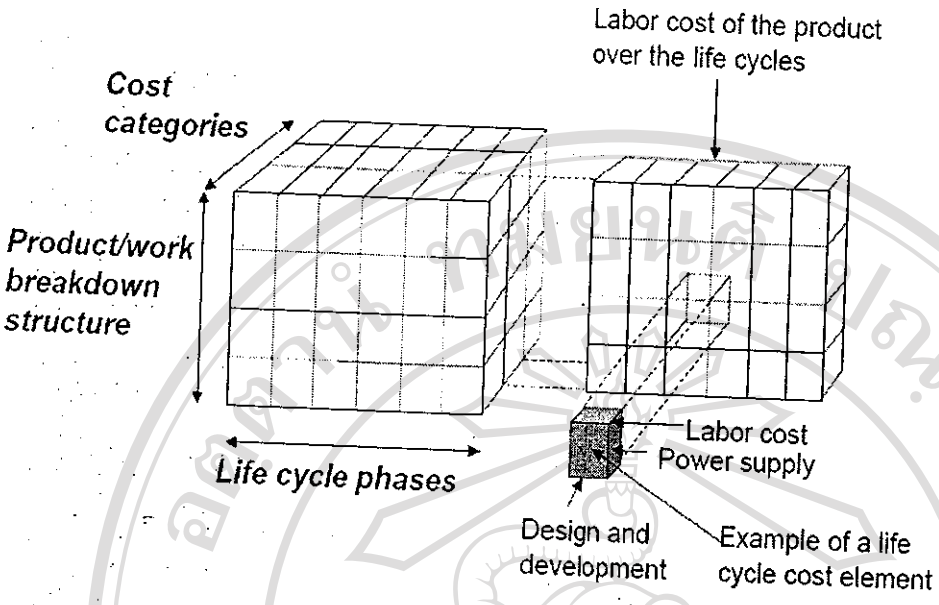
2.8.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Problem definition)

ขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ LCC ของผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือการบริการใดๆ จะเริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาก่อน โดยจะมีการระบุถึงลักษณะของระบบที่เราจะทำการศึกษา เงื่อนไขของระบบ ลักษณะของกิจกรรม รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ ที่เราต้องการศึกษาหรือไม่ต้องการศึกษาด้วย ซึ่งในการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตนี้ควรจะอธิบายอย่างละเอียดและชัดเจน ภายใต้ความเป็นไปได้เหมาะสม เพื่อเป็นที่ยอมรับได้โดยทั่วไป และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ในการกำหนดขอบเขตควรจะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ LCC ว่าผลที่ได้จะนำไปใช้ทางด้านใด ไม่ว่าจะเป็นการประกอบการตัดสินใจในการเลือกหรือลงทุน หรือการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนต้นทุนให้เหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เป็นต้น

2.8.2 การกำหนดองค์ประกอบของต้นทุน (Cost element definition)

จากรูปที่ 2.11 แสดงได้เห็นถึงการวิเคราะห์ LCC เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ว่าในแต่ละระยะนั้นประกอบด้วยต้นทุนย่อย ๆ อะไรบ้าง จึงได้มีการแบ่งแยกต้นทุนย่อยที่เกิดขึ้นตามหมวดหมู่ของต้นทุนหลักตลอดวัฏจักรชีวิต (Cost breakdown structure หรือ Cost categories definition) โดยมีหลักการแสดงดังรูปที่ 2.11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2. 11 หลักการแบ่งต้นทุนย่อยตามกลุ่มต้นทุนหลัก (Cost element concept)
(Yoshi and Marvin, 1999)

จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อ LCC ของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ ของเราคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมทางซ้ายมือ โดยแกน X คือระยะเวลาตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle phase) แกน Z คือ ต้นทุนทั้งหลักหมดที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิต (Cost categories) และแกน Y คือต้นทุนหรืองานย่อย ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในงานหลัก (Product/work breakdown structure) จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าเมื่อ พิจารณาต้นทุนที่เกิดทั้งหมดในส่วนของค่าแรงในการผลิตตลอดวัฏจักรผลิตภัณฑ์ (Labor cost of the product over the life cycle) ค่าแรงที่เกิดทั้งหมดไม่ได้มีเฉพาะค่าแรงในการผลิตเท่านั้น แต่ยังมี ค่าแรงในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือค่าแรงคนงานในระบบการจ่ายพลังงานอีกด้วย ดังที่เห็นจากรูปทรงสี่เหลี่ยมเล็ก ที่ประกอบกันเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมใหญ่ทางด้านขวามือของรูปที่ 2.11 นั่นเอง

2.8.3 การกำหนดรูปแบบของระบบ (System modeling)

การกำหนดรูปแบบของระบบนั้นเปรียบเหมือนการวางแผน หรือการกำหนดกลยุทธ์ ในการดำเนินการของเรานั่นเอง ซึ่งตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องมี ความสอดคล้องในการดำเนินไปของกิจกรรมในทั้งสามระยะดังที่กล่าวมาแล้ว เพื่อให้การผลิตดำเนินไป อย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น ในการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง หลายปัจจัยอันได้แก่ กำลังการผลิต ความต้องการวัตถุดิบ ระยะเวลาการผลิต ความน่าเชื่อถือของระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การบำรุงรักษาเครื่องจักรเครื่องมือ การจัดเก็บและกระจายสินค้า เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนหรือกิจกรรมเหล่านี้ล้วนส่งเสริมการผลิตทั้งสิ้น ถ้ากิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งเกิดการขัดข้องหรือไม่สอดคล้องกันก็อาจทำให้การผลิตนั้นหยุดลงได้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบของระบบขึ้น เช่น การกำหนดรูปแบบในการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance modeling) โดยใช้วิธีให้ทุกคนในองค์กรมีส่วนร่วม (Total preventive maintenance) และกำหนดให้มีการตรวจสอบเครื่องจักรทุกครั้งหลังใช้งานประจำวัน เป็นต้น รูปแบบของระบบอื่น ๆ ที่ควรมีการกำหนดนั้นอาจได้แก่ การกำหนดรูปแบบความพอเพียงในการใช้งานของวัสดุหรือสิ่งบริการ (Availability modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการสินค้าคงคลังและการกระจายสินค้า (Logistic modeling) การกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบ (Production regularity modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการความเสี่ยง (Risk (hazard, warranty) modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ (Human error modeling) หรือการจัดการระบบนิเวศอุตสาหกรรม (Industrial ecology modeling) เป็นต้น

2.8.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)

ในการวิเคราะห์ LCC นั้นจำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลด้านราคา ของงานแต่ละอย่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ซึ่งประเภทของข้อมูลที่ได้นั้นแบ่งเป็นสองประเภทคือ

ข้อมูลที่แท้จริง (Actual data) เป็นข้อมูลที่เราทราบได้ เป็นค่าที่แท้จริง (Known factor or rate) เมื่อเราทราบค่าหรือราคาอยู่แล้วว่าเป็นเท่าไหร่ก็สามารถนำไปคิดคำนวณตามอัตรานั้นได้เลย เช่น ราคาเครื่องจักร เป็นต้น

ข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Estimating data) ในบางค่าของข้อมูลนั้นเราสามารถทราบค่าที่แท้จริงได้ อาจเนื่องมาจากค่าไม่คงที่ตามเวลา หรือมีปัจจัยทางเศรษฐกิจเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ค่าเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งการได้มาของข้อมูลสามารถทำได้จากการประมาณค่า (Cost estimating) โดย (1) Cost Estimating Relationships (CERs) คือ ประมาณราคาจากข้อมูลในอดีตที่มีอยู่หรือเชื่อมโยงราคากับสิ่งที่เราประมาณหรือทราบค่าแล้ว (2) Expert opinion: คือ ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินราคาที่เราต้องการให้ การใช้ข้อมูลที่มาจากการประมาณต้องคำนึงปัจจัยต่าง ๆ ต่อไปนี้ก่อนที่จะนำข้อมูลมาใช้ เพื่อให้ผลของ LCC ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดและเกิดการผิดพลาดน้อย

- ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล (Data accuracy)
- วิธีการที่ใช้ในการประมาณค่าของข้อมูล (Prediction of technique)
- ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่อาจมีผลกระทบ (Environmental factors)
- ปัจจัยในกระบวนการการผลิต (Manufacturing factors)
- ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ (Design related factors)
- ปัจจัยในการจัดการระยะสั้น (Short-term management factors)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.5 การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ระบบ (Cost profile development)

การคำนวณหาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) ใช้หลักทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณมูลค่าการลงทุน และค่าใช้จ่ายแต่ละปีแปลงให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth : PW) ณ ปีที่เราทำการศึกษา โดยสามารถเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+i)^n} \qquad (2.4)$$

เมื่อ NPV = มูลค่ารวมที่ปรับค่าเวลาเป็นปีปัจจุบัน (บาท)

F_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (บาท)

i = ค่าอัตราดอกเบี้ย

n = อายุสิ้นสุดโครงการ (ปี)

การหามูลค่าปัจจุบัน (Present Worth: P)

$$P = FA\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right) \qquad (2.5)$$

$$i = \frac{d-f}{1+f},$$

เมื่อ P = มูลค่าปัจจุบัน (บาท)

FA = ค่าใช้จ่ายในปีอนาคต (บาท)

i = ค่าอัตราดอกเบี้ย

d = อัตราส่วนลด

f = อัตราเงินเฟ้อ

n = อายุสิ้นสุดโครงการ (ปี)

การหามูลค่ารายปีปัจจุบัน (Annual Worth: A)

$$A = P\left(\frac{i(1=i)^{\ n}}{(1+i)^n - 1}\right) \qquad (2.6)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ A = มูลค่ารายปีปัจจุบัน (บาท)

P = มูลค่าปัจจุบัน (บาท)

I = ค่าอัตราดอกเบี้ย

n = อายุสิ้นสุดโครงการ (ปี)

2.8.6 การวิเคราะห์หรือประเมินต้นทุนของระบบ (Evaluation)

เมื่อได้วิธีการที่จะนำมาวิเคราะห์ LCC แล้ว จะทำการวิเคราะห์ผล และตรวจสอบผลที่ได้ว่ามีความแม่นยำถูกต้องหรือไม่ และที่สำคัญกว่านั้นคือต้องมีการวิเคราะห์ความไหว (Sensitivity analysis) ของ LCC ได้เพื่อให้ทราบว่าเมื่อปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมทางเศรษฐกิจเปลี่ยนแปลงไป ค่าจากการวิเคราะห์ LCC ของระบบจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด และควรวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty analysis) ซึ่งอาจเกิดจาก ความไม่แน่นอนของข้อมูล (Parameter uncertainties) ความไม่แน่นอนของรูปแบบหรือวิธีการที่นำมาวิเคราะห์ระบบ (Modeling uncertainties) หรือความไม่สมบูรณ์ของการวิเคราะห์ (Completeness uncertainties) เพื่อให้ผลที่ได้น่าเชื่อถือที่สุด และสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจ หรือปรับเปลี่ยน LCC ของระบบให้ดียิ่งขึ้นไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved