บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของหอผึ่งเย็น ได้ทำการศึกษาข้อมูลผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ประเภท ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหอผึ่งเย็น (Cooling tower) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

Poritosh et al. (2008, pp. 1-10) ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งในเกษตรกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอาหาร ระบุว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่เกี่ยวเนื่องตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต โดยมีวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต 4 ขั้นตอนดังนี้

1. **การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต** (Goal definition and scoping)

ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต จะกำหนดเป้าหมายของการศึกษา, ขอบเขตการศึกษา, การกำหนดหน่วยอ้างอิงผลิตภัณฑ์ (Reference unit) และข้อสมมุติฐาน

2. **การวิเคราะห์บัญชีวัฏจักรชีวิต** (Life cycle inventory (LCI) analysis)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีวัฏจักรชีวิต จะใช้เวลามากที่สุดในการประเมินวัฏจักรชีวิต เนื่องจากต้องใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งสามารถลดเวลาได้ถ้าลูกค้าหรือผู้ผลิตวัตถุดิบช่วยในการให้ข้อมูลอย่างเต็มที่ หรือใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลต่างๆ โดยการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง

3. **การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** (Impact assessment)

ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งไปที่การเข้าใจและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการวิเคราะห์บัญชีวัฏจักรชีวิตภายในกรอบของเป้าหมายและขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ในขั้นตอนนี้จะจำแนกผลกระทบออกเป็นประเภทต่างๆและจัดให้อยู่ในหน่วยมาตรฐานเดียวกัน เช่น Global warming มีหน่วยเป็นกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg$CO_{2,eq}$)

4. **การแปรผล** (Interpretation)

ในขั้นตอนการแปรผลนี้ คือการสรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิตให้เข้าใจได้ง่าย

ซึ่งจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตจะสรุปได้ว่าเกษตรกรรมอาหารเป็นสาเหตุหลักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวัฏจักรชีวิตและการประเมินวัฏจักรชีวิตช่วยให้ทราบถึงขั้นตอนที่เป็นสาเหตุและนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆเพื่อให้น่าเชื่อถือและให้ข้อมูลที่ครอบคลุมแก่ผู้กำหนดนโยบายและผู้บริโภคในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Harnpon Phungrassami (2008, น. 62-65) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตตามมาตรฐานของ International Organization for Standardization (ISO) ซึ่งมี 4 ขั้นตอนได้แก่ Goal and scope definition, Inventory analysis, Impact assessment, Interpretation และพิจารณาว่าในการประเมินวัฏจักรชีวิตยังมีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากการกำหนดขอบเขตที่ไม่ครอบคลุม แม้ฐานข้อมูลถูกพัฒนาโดยหลากหลายประเทศและมีรูปแบบที่เป็นมาตรฐานแต่มักจะเป็นข้อมูลที่ล้าสมัยแล้ว และการประเมินวัฏจักรชีวิตจะมองข้ามเรื่องของความเกี่ยวข้องกับเวลาในแต่ละขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการ Time load LCA ดังสมการต่อไปนี้

$$L^* = \frac{\text{Load}}{T} \qquad (2.1)$$

โดยที่ L* = Time load ในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต

Load = ภาระด้านสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต

T = เวลาที่ใช้สำหรับผลผลิตหลักในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต

จากสมการที่ 2.1แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่มีวัฏจักรชีวิตยาวจะมีการอัตราการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีวัฏจักรชีวิตสั้นกว่า ซึ่งอัตราการสร้างผลกระทบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบกับความจุและความไวต่อการตอบสนองของพื้นที่นั้นๆ

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2003, น. 15) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและผู้ผลิตอิสระ 3 แห่ง ซึ่งครอบคลุม 86% ของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยและตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซที่มีผลต่อภาวะโลกร้อนดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยใช้ฐานอ้างอิงในการคำนวณที่ 1 kWh

ตารางที่ 2.1

มลภาวะทางอากาศจากการผลิตไฟฟ้า

Item	Emission (tons)				Emission (kg/kWh)			
	1999	2000	2001	% Dif	1999	2000	2001	% Dif
CO_2	54,527,721	54,972,840	54,019,990	-1.7	7.15E-01	7.06E-01	7.15E-01	+1.3
SO_2	84,200	55,380	48,042	-13.3	1.16E-03	7.11E-04	6.36E-04	-10.5
NO_x	174,421	173,857	177,881	+2.3	2.40E-03	2.23E-03	2.35E-03	+5.4
CO	12,338	14,066	14,495	+3.0	1.70E-04	1.81E-04	1.92E-04	+6.1
N_2O	1,705	1,701	1,615	-5.1	2.35E-05	2.19E-05	2.14E-05	-2.3
NMVOC	2,601	2,665	2,592	-2.7	3.58E-05	3.42E-05	3.43E-05	+0.3
CH_4	1,140	1,491	1,615	+8.3	1.57E-05	1.92E-05	2.14E-05	+11.5
Dust	9,005	6,184	2,686	-56.6	1.24E-04	7.94E-05	3.56E-05	-55.2

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

วันดี ลือสายวงศ์ (2548, น. 1-4) ได้อธิบายความหมายและให้รายละเอียดของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตในเชิงปริมาณ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Raw material production) การผลิต (Manufacture) การขนส่ง (Transportation) การใช้งาน (Use) และการจัดการหรือการกำจัดทิ้งหลังหมดอายุการใช้งาน (End-of-life management) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมทั้งของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทาง

อากาศ ดินและน้ำ เพื่อหากระบวนการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า "เป็นการรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมทั้งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร" การประเมินวัฏจักรชีวิตมี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. **การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย** (Goal and scope definition)

การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมาย (Goal) และขอบเขตหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ขอบเขตของระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ขั้นตอนนี้มีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา จึงนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมดีพอ จะทำให้การประเมินสารที่เข้าและสารที่ออกจากระบบ หรือประโยชน์ที่จะได้รับจากการปรับปรุงระบบนั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น

2. **การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม** (Inventory analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำและดิน

3. **การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์** (Life cycle impact assessment)

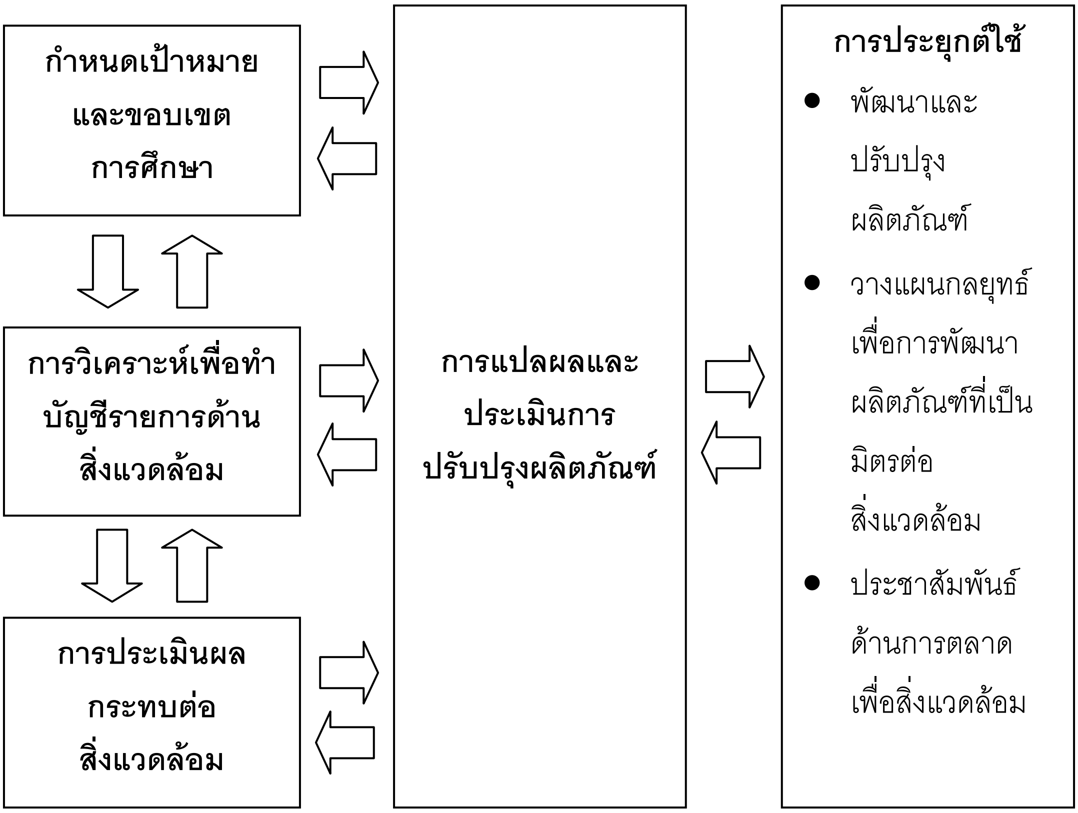
การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย หรือสาร

ขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินผลกระทบเกี่ยวข้องกับประเด็นหลักๆ คือ การนิยามประเภท (Category definition) การจำแนกประเภท (Classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (Weighting)

4. **การแปลผล** (Interpretaion)

การแปลผลเป็นการนำผลการศึกษามาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะที่มาจากผลการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์ถึงแหล่งหรือสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ภาพประกอบที่ 2.1
ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต



โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1

การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต เกี่ยวกับข้อมูลและตัวเลขจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการทำงาน ซึ่งจะทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลของกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากๆได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และมีค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่ง SimaPro 7.1 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล, วิเคราะห์ และตรวจสอบประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ อีกทั้งยังช่วยในการจำลองแบบและวิเคราะห์วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนตามมาตรฐาน ISO อนุกรม 14040 ดังนั้น SimaPro จึงเป็นเครื่องมือที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลัก, ที่ปรึกษา และมหาวิทยาลัยต่างๆในนานาประเทศมากกว่า 60 ประเทศเนื่องจากความเชื่อถือได้และสามารถปรับการใช้งานกับข้อมูลใหม่ๆได้ นอกเหนือจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ มีฐานข้อมูลและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลาย มีการแสดงผลในรูปแบบของตารางหรือกราฟ

วิธีการ CML

วิธีการ CML เป็นวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ระบุแหล่งที่มาของปัญหาได้ ซึ่งพัฒนาเรื่อยมาจาก Ecoinvent 2.0 โดย The Institute of Environmental Sciences of the University of Leiden (CML) โดยแบ่งประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็น 10 ประเภทดังนี้

1. Ozone layer depletion (ODP)
2. Human toxicity
3. Fresh water aquatic ecotoxicity
4. Marine aquatic ecotoxicity
5. Terrestrial ecotoxicity
6. Photochemical oxidation
7. Global warming (GWP100)
8. Acidification
9. Abiotic depletion
10. Eutrophication

การแบ่งประเภทของผลกระทบทั้ง 10 ประเภทนี้อยู่ในระดับที่บ่งบอกถึงประเภทของปัญหาเท่านั้น (Midpoint) และแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้

1. Obligatory impact categories เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ ซึ่งมีหลายวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตอื่นที่เลือก Obligatory impact categories ไปใช้เป็นตัวชี้วัดขั้นพื้นฐาน โดยอยู่บนพื้นฐานของการนำไปปฏิบัติได้จริงที่ดีที่สุด
2. Additional impact categories เป็นตัวชี้วัดที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่ไม่ค่อยมีการนำไปใช้ในการศึกษาวัฏจักรชีวิต
3. Other impact categories เป็นตัวชี้วัดที่มีอยู่แต่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะประเมินเชิงปริมาณในการประเมินวัฏจักรชีวิต

ศักยภาพในการดูดกลืนความร้อน

Forster et al. (2007, น. 210-216) ได้อธิบายไว้ว่าก๊าซแต่ละชนิดมีศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อน (Global warming potential, GWP) ไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของโมเลกุลในสถานะเป็นก๊าซกับเวลาชั่วชีวิตในชั้นบรรยากาศของมัน โดยศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนสามารถวัดได้โดยการเปรียบเทียบกับ CO_2 ในขนาดมวลที่เท่ากันแล้วจึงประเมินหาค่าเฉพาะของเวลา ดังนั้น ถ้าโมเลกุลของก๊าซมีค่าศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนสูงในช่วงเวลาที่สั้น แต่กลับมีช่วงชีวิตที่สั้น ย่อมหมายความว่ามันมีศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนมากในช่วงระยะเวลา 20ปี แต่จะมีศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนน้อยในช่วงเวลา 100ปีและในทางกลับกันถ้าโมเลกุลของ CO_2 ที่มีเวลาช่วงชีวิตที่ยาวกว่าศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

Direct GWP data from IPCC/TEAP (2005)

Common name	Chemical formula	GWP for given Time Horizon		
		20	100	500
Carbon dioxide	CO_2	1	1	1
Methane	CH_4	72	25	7.6
Nitrous oxide	N_2O	289	298	153
Hydro fluorocarbons	HFCs	12,000	14,800	12,200

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

Common name	Chemical formula	GWP for given Time Horizon		
		20	100	500
Perfluoro carbons	PFCs	6,310	8,830	12,500
Sulfur hexafluoride	SF_6	16,300	22,800	32,600

ที่มา : Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Forster et al., 2007, pp. 212-213

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design)

Duflou, Dewulf, and Sas (2003, pp. 29-32) พบว่าผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะไม่มีเวลามากนักในการรวบรวมและจัดการข้อมูลที่จำเป็นให้เพียงพอในการตัดสินใจที่มีหลายจุดประสงค์รวมทั้งจุดประสงค์ทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้โปรแกรมที่พัฒนาเพื่อช่วยในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จึงจำเป็น

Talbot (2005, pp. 475-479) ได้ศึกษาถึงการนำการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) มาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมกับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) โดยได้มีการจัดทำ Eco-design chain ไว้จำนวน 10 หัวข้อในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถจะดำเนินการโดยบริษัทผู้ผลิตในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแบ่งตามขั้นตอนได้ 4 กลุ่มดังนี้

1. การลดหรือเลือกวัตถุดิบ

1. การเลือกวัตถุดิบที่สามารถรีไซเคิลหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย
2. การลดปริมาณวัตถุดิบที่ใช้

2. การผลิตผลิตภัณฑ์

1. การออกแบบให้ผลิตได้ง่าย
2. ลดพลังงานที่ต้องการในการผลิต

3. การใช้งานและบำรุงรักษาผลิตภัณฑ์

1. ลดพลังงานที่จำเป็นในการใช้งานผลิตภัณฑ์
2. การเพิ่มอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์
3. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้หลายคน
4. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สะดวกต่อการบำรุงรักษา

4. การจัดการเมื่อสิ้นอายุขัย

1. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สะดวกต่อการแยกชิ้นส่วน
2. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สะดวกต่อการรีไซเคิล

และจากผลการทดลอง Eco-design chain มีส่วนช่วยให้ผลกระทบโดยรวมลดลง สืบเนื่องจากการที่ Eco-design chain ช่วยระบุว่าขั้นตอนใดตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและเรียงลำดับศักยภาพที่จะสามารถลดได้

Ammenberg and Sundin (2005, pp. 405-415) ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) พบว่าในระหว่างกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีโอกาสอย่างมากที่จะปรับปรุงรูปแบบเพื่อที่จะเพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

Sutherland and Haapala (2007, pp. 5-8) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตเหล็ก ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากมีการใช้พลังงานและวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก ขณะเดียวกันก็มีของเสียออกมามากเช่นกัน กระบวนการผลิตเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญมากในวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เพราะว่าสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มาก แต่มักจะถูกละเลย การปรับปรุงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เข้ามาช่วยในการคำนวณ ทำให้สามารถคาดคะเนการใช้ทรัพยากรได้ และสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะช่วยในการคาดคะเนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แม่นยำ แม้จะมีความเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย
2. การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบเพียงเล็กน้อยสามารถสร้างความแตกต่างอย่างมากกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตอาจจะทำให้เกิดของเสียเพิ่มมากขึ้น และในทางกลับกันถ้าต้องการให้เกิดของเสียน้อยต้องเพิ่มพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ธีรยุทธ์ เพ็งชัย (2551, น. 47-51) ได้ให้นิยามของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) และยกกรณีตัวอย่างของการทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามแนวคิด Eco-design ของนิติ นิมะลาซึ่งเริ่มจากการตั้งคำถามว่าจะใช้กระบวนการ 4R อันได้แก่ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) การซ่อมบำรุง (Repair) ได้อย่างไรจากนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้ผ่านกลไก (Eco-design strategy) ใน 7 ด้านหลักได้แก่

1. ลดการใช้วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Reduction of Low-impact materials)
2. ลดปริมาณและชนิดของวัสดุที่ใช้ (Reduction of materials used)
3. ปรับปรุงกระบวนการผลิต (Optimization of production techniques)
4. ปรับปรุงกระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์ (Optimization of distribution system)
5. ปรับปรุงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์ (Optimization of impact during use)
6. ปรับปรุงอายุผลิตภัณฑ์ (Optimization of initial lifetime)
7. ปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและทำลายผลิตภัณฑ์ (Optimization of End-of-life)

อีกทั้งยังได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจว่าไม่ใช่เป็นเพียงแค่แนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญในแง่ของการค้าและการส่งออกอีกด้วย โดยเฉพาะประเทศที่พัฒนาแล้วได้มีการออกนโยบายที่ให้ความสนใจด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เช่น ระเบียบว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE), ระเบียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS), ระเบียบเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ (REACH), ระเบียบเกี่ยวกับการจัดการจัดการซากของยานยนต์ (ELV)

Gurauskiene and Varzinskas (2006, pp. 43-51) ได้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ได้ข้อสรุปว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นและยั่งยืนทำได้โดยการใช้ ระบบการผลิตแบบสะอาด และ การอนุรักษ์ทรัพยากร แต่แรงผลักดันหลักที่ทำให้บริษัทต่างๆหันมาออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) คือโอกาสทางธุรกิจมากกว่าที่จะเป็นความสนใจในสิ่งแวดล้อม แม้ว่ากฎหมายและแรงผลักดันจากตลาดจะเพิ่มแรงกดดันขึ้นเรื่อยๆโดยที่ผู้ผลิตยังไม่ได้มีความ

กระตือรือร้นเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามกระบวนการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) ช่วยในการรวบรวมทุกส่วนของระบบการผลิตผ่านวัฏจักรชีวิต โดยที่วิธีการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมมีพื้นฐานอยู่บน Life cycle thinking ขณะที่วิธีการทางปริมาณจะใช้เมื่อต้องการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจแล้วกับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ และจากกรณีศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจช่วยลดต้นทุนในการผลิต, เกิดการใช้วัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และทำให้พนักงานในองค์กรมีความตระหนักต่อการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อทั้งตัวบริษัทและสิ่งแวดล้อม ในส่วนของผู้บริหารต้องมีความคุ้นเคยกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพื่อที่จะได้สนับสนุนให้เป็นเครื่องมือสำหรับการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ สุดท้ายนี้นวัตกรรมทางด้านสิ่งแวดล้อมสามารถใช้อย่างเปิดเผยได้มากขึ้นเนื่องจากเป็นโอกาสในการสร้างความสามารถในการแข่งขันของสินค้า และการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และนวัตกรรม

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ให้นิยามของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) เป็นกระบวนการที่ผนวกเอาแนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product life cycle) ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนผลิตผลิตภัณฑ์ ช่วงการออกแบบ ช่วงการผลิต ช่วงการนำไปใช้ และช่วงการทำลายหลังการใช้งาน ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีความหมายรวมถึงการวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ การจัดการซากที่หมดอายุ การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ และหลักการพื้นฐานของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ คือ การประยุกต์หลักการของ 4R ในทุกช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ช่วงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ว่านี้ ได้แก่ ช่วงการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Planning phase) ช่วงการออกแบบ (Design phase) ช่วงการผลิต (Manufacture phase) ช่วงการนำไปใช้ (Use phase) และช่วงการทำลายหลังการใช้เสร็จ (Disposal phase) สำหรับหลักการของ 4R ได้แก่ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการซ่อมบำรุง (Repair) ซึ่งทั้ง 4R จะมีความสัมพันธ์กับแต่ละช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

1. การลด (Reduce) หมายถึงการลดการใช้ทรัพยากรในช่วงต่างๆของวงจรชีวิต ซึ่งสามารถเกิดได้ในทุกช่วงของวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมากจะพบในช่วงการออกแบบ ช่วงการ

ผลิต และการนำไปใช้ อาทิ เช่น การลดการใช้ทรัพยากรในการออกแบบ การออกแบบเพื่อลดอัตราการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต การออกแบบเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตและการออกแบบเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานในระหว่างการใช้งาน

2. การใช้ซ้ำ (Reuse) หมายถึงการนำผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านช่วงการนำไปใช้เรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะเข้าสู่ช่วงของการทำลาย กลับมาใช้ใหม่ ทั้งที่เป็นการใช้ใหม่ในผลิตภัณฑ์เดิม หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ตาม ได้แก่ การออกแบบเพื่อการนำกลับมาใช้ซ้ำ (Design for reuse) เช่น การออกแบบให้ผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นมีชิ้นส่วนที่ใช้ร่วมกันได้ เมื่อรุ่นแรกหยุดการผลิตแล้วยังสามารถเก็บคืนและนำบางชิ้นส่วนมาใช้ในการผลิตรุ่นต่อไปได้

3. การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) หมายถึงการนำผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ ที่อยู่ในช่วงของการทำลายมาผ่านกระบวนการแล้ว นำกลับไปใช้ใหม่ตั้งแต่ช่วงของการวางแผน การออกแบบ หรือแม้แต่ช่วงของการผลิต ได้แก่ การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย (Design for disassembly) การออกแบบเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ (Design for recycle) เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้วัตถุดิบพลาสติก หรือกระดาษที่ง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

4. การซ่อมบำรุง (Repair) หมายถึงการออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ทั้งนี้มีแนวคิดที่ว่า หากผลิตภัณฑ์สามารถซ่อมบำรุงได้ง่ายจะเป็นการยืดอายุช่วงชีวิตของการใช้งาน (Extended usage life) ซึ่งท้ายที่สุดสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ การซ่อมบำรุงนี้เกิดภายในช่วงชีวิตของการใช้งานเท่านั้น แตกต่างจากการใช้ซ้ำ (Reuse) ซึ่งเป็นการนำชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่เสร็จจากช่วงการใช้งานแล้วมาใช้อีกครั้ง การซ่อมบำรุงนี้ได้แก่ การออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง (Design for serviceability/Design for maintainability) เช่น การออกแบบให้เปลี่ยนอะไหล่ได้สะดวก

การนำการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจมาประยุกต์ใช้จะคำนึงถึงกลไก (Eco-design strategy) ใน 7 ด้านหลักได้แก่

1. ลดการใช้วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Reduction of Low-impact materials)
2. ลดปริมาณและชนิดของวัสดุที่ใช้ (Reduction of material used)
3. ปรับปรุงกระบวนการผลิต (Optimization of production techniques)
4. ปรับปรุงระบบการขนส่งผลิตภัณฑ์ (Optimization of distribution system)
5. ปรับปรุงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์ (Optimization of impact during use)
6. ปรับปรุงอายุผลิตภัณฑ์ (Optimization of initial lifetime)
7. ปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและทำลายผลิตภัณฑ์ (Optimization of End-of-life)

อย่างไรก็ตามการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจมีมุมมองทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อยู่ 2 มุมมองที่ต้องนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

1. มุมมองจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle perspective) ซึ่งจะดูจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
2. มุมมองจากผู้ที่เกี่ยวข้อง (Stakeholder perspective) ซึ่งจะเกี่ยวกับกฎหมายต่างๆ ความต้องการของตลาด และสินค้าของคู่แข่งขัน

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ได้ให้นิยามของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) เป็นกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle, PLC) ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการหรือการกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งจะเป็นการหาแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. **การวางแผน** (Product planning)

การวางแผนในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วยการวิจัยการตลาด การศึกษาความต้องการของผู้บริโภค การกำหนดนโยบายผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะกำหนดทิศทางการพัฒนาและฟังก์ชั่นของผลิตภัณฑ์

2. **กำหนดความต้องการของลูกค้า** (Voice of customer identification)

การกำหนดความต้องของลูกค้า เป็นการหาความต้องการของลูกค้าหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะอยู่ในช่วงใดของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยผ่านการสัมภาษณ์หรือการสังเกตพฤติกรรม และนำมาตีความเพื่อระบุความต้องการของลูกค้าหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์

3. **การออกแบบในระดับแนวคิด** (Conceptual design)

การออกแบบในระดับแนวคิด เป็นการกำหนดแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแนวทางนั้นเกิดจากการประยุกต์ใช้ กลยุทธ์ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

(Eco-design strategies) กับผลการประเมินวัฏจักรชีวิต กฎระเบียบต่างๆ และความต้องการของลูกค้าหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยกลยุทธ์ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สามารถแบ่งได้ 5 กลุ่มดังนี้

3.1 **แนวทางเกี่ยวกับวัตถุดิบ** (Raw material)

1. การเลือกใช้วัตถุดิบให้เหมาะสมทั้งในด้านปริมาณและคุณสมบัติ
2. การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

3.2 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการผลิต** (Manufacture)

1. การลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต
2. การใช้วัตถุดิบให้เกิดผลสูงสุด

3.3 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการขนส่ง** (Transportation)

1. การลดขนาดและน้ำหนักแพ็คเกจ
2. การขนส่งที่มีประสิทธิภาพ

3.4 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการใช้งาน** (Use)

1. การทำให้เกิดการใช้งานได้มีประสิทธิผลสูงขึ้น
2. การลดปริมาณพลังงานหรือวัสดุระหว่างการใช้งาน
3. การหลีกเลี่ยงการเกิดของเสีย
4. การออกแบบให้บำรุงรักษาได้สะดวกขึ้น
5. การออกแบบให้ซ่อมบำรุงได้สะดวกขึ้น
6. การเพิ่มความทนทาน
7. การเพิ่มฟังก์ชั่นการใช้งาน

3.5 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการจัดการหลังหมดอายุการใช้งาน** (End-of-life management)

1. การออกแบบให้แยกชิ้นส่วนได้สะดวกขึ้น
2. การใช้ซ้ำ
3. การนำกลับมาใช้ใหม่

4. **การออกแบบรายละเอียด** (Detail design)

การออกแบบรายละเอียด เป็นการนำแนวทางที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่แล้วมากำหนดรายละเอียด เช่น ขนาด รูปร่าง วัสดุที่ใช้ กระบวนการผลิต โดยการร่วมมือกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่เกี่ยวข้อง

5. **ทดสอบและทำให้ประณีต** (Testing and fine tune)

การทดสอบและการทำให้ประณีต เป็นการจัดทำต้นแบบตามแนวทางที่ได้ออกแบบไว้และทดสอบการใช้งานจริงเพื่อนำมาใช้ตัดสินความเป็นไปได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหอผึ่งเย็น (Cooling tower)

ธารายนต์ (2550, น. 41-42) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้โอโซนกำจัดตะกรันในระบบหอผึ่งเย็นที่ใช้น้ำเป็นตัวนำความร้อนไหลจากเครื่องควบแน่น (Condenser) กลับไปที่หอผึ่งเย็นเพื่อระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำให้เป็นฝอยตกลงมายังถาดรองรับน้ำด้านล่าง ในขณะที่พ่นน้ำลงมา พัดลมขนาดใหญ่ที่ถูกติดตั้งไว้ด้านบนจะดูดอากาศให้เคลื่อนที่สวนทางกับน้ำที่ตกลงมา ลมที่ผ่านน้ำนี้จะเป็นตัวพาความร้อนออกไปทำให้น้ำเย็นลงและน้ำเย็นก็จะถูกสูบไประบายความร้อนกับสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่น ซึ่งการที่พัดลมดูดน้ำออกและพ่นน้ำเป็นฝอยละอองจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในระบบเป็นผลให้เกิดหินปูนที่อยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตหรือตะกรันขึ้นที่พื้นผิวของเครื่องถ่ายเทความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การแก้โดยการเติมโอโซนลงไปในน้ำซึ่งจะทำงานในลักษณะของแอ็กทีฟออกซิเจนที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารอนินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด โดยที่สภาวะที่น้ำมีค่า pH มากกว่า 8 โอโซนจะแตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Hydroxil free radical, OH) ที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าโอโซน ซึ่ง OH จะทำลายกลุ่มคาร์บอเนต และกระบวนการกำจัดตะกรันจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณโอโซนในน้ำไม่ต่ำกว่า 0.1 ppm

Fulkerson (2008, pp. 72-73, p. 76, p.78) ศึกษาเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกระหว่างการซ่อมบำรุงหอผึ่งเย็นและการสั่งซื้อหอผึ่งเย็นเครื่องใหม่ ซึ่งมีการตรวจสอบสภาพของหอผึ่งเย็นในทุกรายละเอียดรวมทั้งโครงสร้างและแผ่นรังผึ้ง ซึ่งในการพิจารณาอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ นอกจากจะพิจารณาจากการทนความร้อนและสภาพการสึกกร่อนแล้วยังได้มีการทดสอบการทนแรงดันและพิจารณาตะกรันที่เกาะติดอยู่อีกด้วย