

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

สุวัฒนา แดงไทย. (2554). การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบ

อินเวอร์เตอร์. ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการทางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ:

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม:

ผศ.ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์, ดร.อาจริ ศุภสุธิกุล.

วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) ของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือการบริการนั้น ได้ถูกพัฒนาขึ้นมากกว่า 20 ปี เพื่อศึกษาถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือการบริการ ซึ่งข้อมูลจาก LCA สามารถนำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเตรียมฐานข้อมูลสำหรับ EcoDesign ของผลิตภัณฑ์ “เครื่องปรับอากาศ” โดยเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างละเอียดของปริมาณวัตถุดิบสำคัญ ปริมาณพลังงาน และปริมาณของเสียแล้วนำมาทำการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A และ B ทั้งในระบบธรรมดาและระบบอินเวอร์เตอร์ จากผลการศึกษาพบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบธรรมดาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คิดเป็น 27,800 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยช่วงการใช้งานส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในกลุ่มภาวะโลกร้อน กลุ่มภาวะฝนกรด และกลุ่มภาวะการลดลงของโอโซนจากอุตสาหกรรม คิดเป็น 20,000 kg CO₂, 10.8 kg SO₂ และ 0.295 kg CFC11 โดยจากผลการประเมินดังกล่าวสามารถเสนอแนวทางในการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และการเปลี่ยนสารทำความเย็นจาก R22 เป็น R410A ซึ่งสามารถลดปริมาณ CO₂ ลงได้ 37% และสามารถลดสาร CFC11 ได้ถึง 90% นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังทำให้เกิดฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากมาตรการทางการค้าที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมเป็นต้น

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม, ภาวะโลกร้อน, ภาวะการลดลงของชั้นโอโซน

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF INVERTER SPLIT TYPE AIR CONDITIONER



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering degree in Engineering Management
at Srinakharinwirot University

May 2011

Suwattana Tangthai. (2011). *Life Cycle Assessment of Inverter Split Type Air Conditioner*.

Master Thesis, M.Eng. (Engineering Management). Bangkok: Graduate School,
Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Asst.Prof. Dr.Kitti
Sathapornprasath,Dr.Arjaree Supasuteekul

Over the past 20 years, Life Cycle Assessment (LCA) has been developed for assessing environmental burdens throughout the life cycle of products, production processes, or services. Results from LCA would be used as guidelines and enable designer to create more environmental friendly products, processes, or services. This research focuses on determining environmental impacts and developing life cycle database for EcoDesign of air conditioner. The quantity data of main raw materials, energy, and emissions are collected in order to be used in assessment process of environmental impacts. In this research, the environmental impacts between A-type and B-type air conditioners with conventional and split type inverter systems are analyzed and assessed using LCA methodology. The results show that 16,900 kg CO₂ equivalent emission of B-type air conditioner with conventional system is the most contributing impact on Global warming. The disposal stage contributes the most impact on Global warming, Acid rain, and Ozone depletion which is equivalent to emission of 20,000 kg CO₂, 10.8 kg SO₂, and 0.295 kg CFC11 respectively. In summary, the recommended improvement methods are improvement of air conditioner efficiency and refrigerant substitution from R22 to R410A. The amount of CO₂ and CFC11 emission would be reduced by 37% and 90% respectively. Moreover, these databases can be used for LCA study of other products especially in Electrical and Electronic Equipment, the first product group that will be affected by non-tariff barrier related to an environmental issue.

Keywords: Life cycle assessment, Environmental impact, Global warming, Ozone depletion

ประกาศคุณูปการ

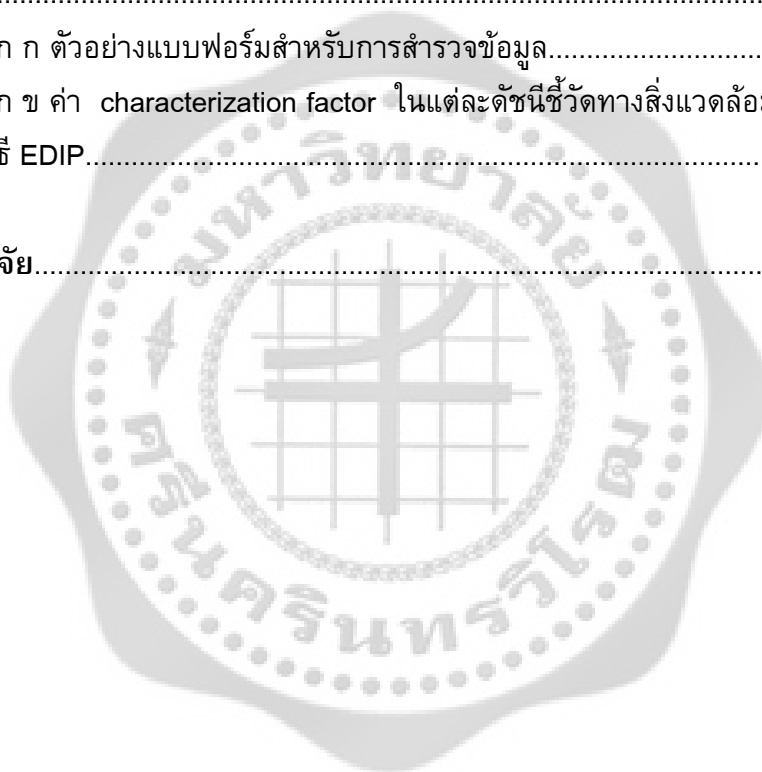


สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎี.....	8
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย.....	?
วิธีดำเนินงานวิจัย.....	?
การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย.....	?
วิธีการ.....	?
สถานที่และระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	?
4 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	29
ผลและการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	?
ผลการวิจัย.....	?
การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของของผลิตภัณฑ์.....	?
การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม.....	37
การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	42
การเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง.....	?

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลวิจัย.....	50
สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	50
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก ตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับการสำรวจข้อมูล.....	57
ภาคผนวก ข ค่า characterization factor ในแต่ละดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี EDIP.....	61
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	70



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในชั้น characterization.....	5
2 สัดส่วนของผลกระทบในแต่ละขั้นตอน.....	13
3 เปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างการใช้วิธี Ecopoint กับวิธี Eco-indicator 99...	16
4 เครื่องมือการจัดการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม.....	18
5 การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	19
6 ค่า Global warming potential ในเวลาต่าง ๆ กัน.....	20
7 ค่า ER_{90} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ.....	21
8 ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ 1 เครื่อง.....	30
9 ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ บี 1 เครื่อง.....	31
10 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิตเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ เอ	
1 เครื่อง.....	32
11 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิตเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ บี	
1 เครื่อง.....	33
12 ข้อมูลการขนส่งผลิตภัณฑ์.....	33
13 การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบธรรมดา ยี่ห้อ เอ..	34
14 การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์	
ยี่ห้อ เอ.....	34
15 การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบธรรมดา ยี่ห้อ บี...	34
16 การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์	
ยี่ห้อ บี.....	35
17 สัดส่วนการผลิตของโรงไฟฟ้าในแต่ละประเภท.....	35
18 การแยกส่วนกำจัดของตู้เย็นที่หมดอายุการใช้งานแล้ว.....	36
19 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A	
ระบบธรรมดา.....	38
20 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A	
ระบบอินเวอร์เตอร์.....	39
21 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B	
ระบบธรรมดา.....	40

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
22 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์.....	41
23 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A ระบบธรรมดา.....	45
24 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ A ระบบอินเวอร์เตอร์.....	46
25 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ B ระบบธรรมดา.....	46
26 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์.....	47
27 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกลุ่มผลกระทบตลอดช่วงตลอด วัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A และยี่ห้อ B.....	48

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของตู้เย็นพาณิชย์ CRB120 ที่ใช้ R12 และ R134a เป็นสารทำความเย็น.....	8
2 ขั้นตอนการทำ LCA.....	9
3 ขอบเขตของระบบในการ LCA.....	22
4 แผนภาพขั้นตอนในแต่ละกระบวนการผลิตการผลิตเครื่องปรับอากาศ.....	25
5 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ A ระบบ ธรรมดา.....	42
6 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ A ระบบอินเวอร์เตอร์.....	43
7 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ B ระบบธรรมดา.....	43
8 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์.....	44
9 แสดงการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของ เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A และยี่ห้อ B ระบบธรรมดาและระบบอินเวอร์เตอร์.....	44

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศนับว่ามีบทบาทต่อระบบเศรษฐกิจและชีวิตความเป็นอยู่ของคนไทยมากยิ่งขึ้นทุกวัน จากปริมาณความต้องการใช้เครื่องปรับอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปีส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เป็นที่ทราบกันดีว่า การใช้เครื่องปรับอากาศก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า การปลดปล่อยสาร Chlorofluorocarbon (CFC) และการเกิดขยะจากซากผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยส่วนใหญ่พลังงานไฟฟ้าผลิตจาก ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันและลิกไนต์ อย่างไรก็ตามทรัพยากรเหล่านี้มีปริมาณจำกัดและลดลงเรื่อย ๆ นอกจากนี้การใช้ทรัพยากรเหล่านี้ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มีก๊าซเรือนกระจกเกิดฝุ่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของลิกไนต์ทำให้เกิดฝนกรด ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาในระหว่างการใช้ของเชื้อเพลิง ทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจกและบรรยากาศของโลกร้อนขึ้น การใช้สาร Chlorofluorocarbon (CFC) เป็นสารทำความเย็นก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง หากมีการรั่วไหลสู่บรรยากาศชั้นโอโซนทำให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน นอกจากนี้เมื่อเครื่องปรับอากาศหมดอายุการใช้งานแล้ว จะถูกทิ้งเป็นขยะตกค้างในสิ่งแวดล้อม ที่ย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติ โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ทำด้วยพลาสติก

การควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอดีตที่ผ่านมา องค์กรหรือโรงงานส่วนใหญ่มักมุ่งความสนใจในการบำบัดมลพิษที่ปลายท่อ (end of pipe) ในโรงงาน ในความเป็นจริงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ไม่ได้เกิดขึ้นภายในโรงงานเท่านั้น แต่เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการสกัดวัตถุดิบ การใช้วัตถุดิบผ่านกระบวนการผลิตต่าง ๆ จนกระทั่งออกมาเป็นผลิตภัณฑ์และขนส่งไปยังผู้ใช้ รวมทั้งการกำจัดทิ้งหลังการใช้งาน ขั้นตอนเหล่านี้ล้วนแต่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งนั้น ดังนั้นในการศึกษาหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้น จำเป็นต้องวิเคราะห์ให้ครอบคลุมตลอดอายุของผลิตภัณฑ์ วิธีการหนึ่งที่ใช้กันทั่วไป คือ วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อันเป็นผลเนื่องมาจากขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ รวมทั้งกิจกรรมอื่น ๆ โดยพิจารณาตลอดทั้งอายุของผลิตภัณฑ์นั้น เริ่มตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ การผลิตผลิตภัณฑ์ การขนส่ง และการกำจัดโดยการทำลาย (International Organization for Standardization: ISO, 1997)

งานวิจัยนี้้นำการประเมินวัฏจักรชีวิตมาศึกษาวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในภาคครัวเรือน ซึ่งถือเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากเป็นอันดับต้น ๆ ของการใช้ไฟฟ้าในภาคครัวเรือน โดยคิดเป็นประมาณร้อยละ 70 ของค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน (การไฟฟ้าฝ่าย

ผลิตแห่งประเทศไทย. 2553) นอกจากนี้ประเทศไทยถือเป็นผู้ส่งออกเครื่องปรับอากาศรายใหญ่อันดับ 2 ของโลกรองจากประเทศจีน โดยมีส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 9 ของการส่งออกทั้งหมดในตลาดโลก สามารถนำรายได้เข้าประเทศเฉลี่ยปีละ 2,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯยังเป็นสินค้าส่งออกประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญของประเทศไทยหรือประมาณ 1,681,000 เครื่องต่อปี (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. 2550) แต่มีแนวโน้มที่จะลดลงเนื่องจากมีการแข่งขันที่รุนแรงมากขึ้น ทั้งจากประเทศในกลุ่มอาเซียนและจากประเทศจีน ซึ่งคาดว่าหลังจากที่มีการเปิดเสรีทางการค้าแล้วการแข่งขันจะยิ่งรุนแรงมากขึ้นอีก ประกอบกับปัจจุบันได้มีการกีดกันทางการค้าในรูปแบบอื่นนอกจากกำแพงภาษี กล่าวคือ มีการใช้มาตรการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นตัวกีดกันทางการค้า เช่น กฎหมายเกี่ยวกับการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศญี่ปุ่นและในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปใช้ระเบียบเรื่องบรรจุภัณฑ์ (Directives on Packaging Waste) ระเบียบว่าด้วยเศษวัสดุเหลือทิ้งผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste from Electrical and Electronic Equipment: WEEE) และนโยบายว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Restriction of the use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment: RoHS) และนโยบายสินค้าครบวงจร (Integrated Product Policy: IPP) เป็นต้น

จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะต้องมีการเตรียมการอย่างเร่งด่วน เพื่อรองรับกับมาตรการด้านการค้าและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศคู่ค้า ซึ่งจะช่วยให้ประเทศไทยยังคงรักษาส่วนแบ่งตลาดในประเทศไว้ และลดการสูญเสียรายได้เข้าประเทศซึ่งอาจเกิดจากการที่ผู้ผลิตไม่สามารถปฏิบัติตามมาตรการดังกล่าวได้ นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นภายในประเทศได้ในขณะเดียวกันอีกด้วย

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศในระบบอินเวอร์เตอร์ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อเสนอแนะ วิธีการพัฒนา ปรับปรุง การผลิตเครื่องปรับอากาศ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง
3. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาผลิตภัณฑ์ภายในประเทศและช่วยในการตัดสินใจของผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ขอบเขตของงานวิจัย

1. โครงการงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศระบบธรรมดาและระบบอินเวอร์เตอร์ แบบแยกส่วน(Split type ขนาด 18,000 บีทียูต่อชั่วโมง

2. ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ โดยทำการประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต การขนส่งไปยังผู้ใช้ การใช้งานตลอดอายุเครื่องปรับอากาศ และการกำจัดทิ้งเมื่อหมดอายุการใช้งาน เมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศระบบปกติ

3. ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+ โดยใช้วิธี EDIP และ Eco-indicator 99 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีฐานข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ
2. ช่วยในการตัดสินใจของผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
3. สามารถนำฐานข้อมูลและผลการประเมินที่ได้จากการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศในประเทศไทย ให้มีการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง
4. เป็นแนวทางและผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีการใช้พลังงานมากและหรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อประเทศในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมเริ่มเด่นชัดขึ้น ความรู้ด้านการจัดการต่อสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เครื่องมือและเทคนิคในการจัดการและประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อมถูกพัฒนาขึ้นจากหลาย ๆ ประเทศ ปัจจุบันเครื่องมือในการจัดการและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายวิธี เช่น Life Cycle Assessment (LCA), Risk Assessment (RA), Environmental Impact Assessment (EIA), Environmental Performance Evaluation (EPE) โดยแต่ละวิธีมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1



ตาราง 1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
วัตถุประสงค์รวม	- เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างทาง สิ่งแวดล้อมของระบบ - เพื่อระบุลำดับในการปรับปรุง	- เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ มนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง กับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	- เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวก และลบต่อสิ่งแวดล้อมของแผน โครงการในอนาคต	- เพื่อจัดหาข้อมูลที่เชื่อถือและ พิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะทาง สิ่งแวดล้อมขององค์กร
ข้อดี	- พิจารณาผลกระทบทั้งระดับโลกและ ภูมิภาค - สะดวกในการพิจารณาผลกระทบต่อ สังคม	- ประเมินผลกระทบระดับพื้นที่และ ภูมิภาคต่อเป้าหมายเฉพาะ	- ประเมินผลกระทบทั้งด้านบวก และลบ - พิจารณาผลกระทบของโครงการ ในระดับพื้นที่	- มีการวัดสมรรถนะทาง สิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรงกับ นโยบายและเป้าหมาย
ข้อเสีย	- ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา	- ไม่ได้พิจารณาตลอดวงจรชีวิตไม่ พิจารณาถึงปริมาณการใช้ ทรัพยากร	- ยากต่อการวิเคราะห์ผลกระทบ ระดับโลก ภูมิภาค และตลอด วงจรชีวิต	- ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ใน การวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม
ผู้ใช้; อุตสาหกรรม	- มุ่งเน้นในการปรับปรุง - กลยุทธ์การวางแผนระยะยาว - ติดต่อสื่อสาร	- เพื่อตรวจสอบการยอมรับของ ความเสี่ยง	- เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ ทางกฎหมาย - เพื่อระบุหรือชี้วัดความต้องการใน การเปลี่ยนแปลงของโครงการเพื่อ ลดผลกระทบลง	- เพื่อวัดสมรรถนะทาง สิ่งแวดล้อมและการปรับปรุง - เพื่อชี้วัดกลยุทธ์โอกาสทาง ธุรกิจ

ตาราง 1 (ต่อ)

เครื่องมือ	LCA (Life Cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
หน่วยงานที่มีใช้ รัฐ	-ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจรใช้ สนับสนุนการคิดแบบครบวงจรแต่ยัง มีข้อสงสัยในการประยุกต์ใช้	-เพื่อคัดค้านการยอมรับ สถานการณ์ที่เป็นอันตราย	-เพื่อคัดค้านการยอมรับต่อแผน โครงการ	-ไม่ได้นำไปใช้
เป้าหมายของ การวิเคราะห์	ผลิตภัณฑ์ หรือ การบริการ	สถานการณ์ความเป็นพิษ	แผนสร้างโครงการ โดยทั่วไปเป็น โครงการก่อสร้าง	กิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กร
การจำกัดพื้นที่	ไม่จำกัด	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดกิจกรรมในองค์กร
พิจารณา ผลกระทบ ทางด้านใด	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมจาก การใช้ทรัพยากรและข้อเสียที่เกิดขึ้น	ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม	ผลกระทบทั้งหมดของโครงการต่อ สิ่งแวดล้อมในพื้นที่	ผลกระทบที่สัมพันธ์กับกิจกรรม ขององค์กร
การแปรผล	การประเมินผลกระทบ	เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับ ได้	ต้นทุนและกำไรทางสิ่งแวดล้อม	ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหาของ สมรรถนะ
ฐานการ เปรียบเทียบ	หน่วยหน้าที่	สถานการณ์ที่ต้องการการ เปรียบเทียบ	โครงการ	หน่วยการทำงาน

จากตารางที่ 1 พบว่าเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดคือ เครื่องมือการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยมองภาพรวมทุก ๆ ช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความเหมาะสมกับงานวิจัยและทำการศึกษาในครั้งนี้

การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ หรือบริการตลอดวงจรชีวิต เริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และพลังงาน การขนส่ง การผลิต ผลิตภัณฑ์ การบรรจุ การบำรุงรักษา การใช้ และการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรือกล่าวได้ว่าพิจารณาทุกกระบวนการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมายคือ การใช้ทรัพยากร สุขภาพมนุษย์และผลกระทบต่อระบบนิเวศ (International Standard for Organization: ISO , 1997)

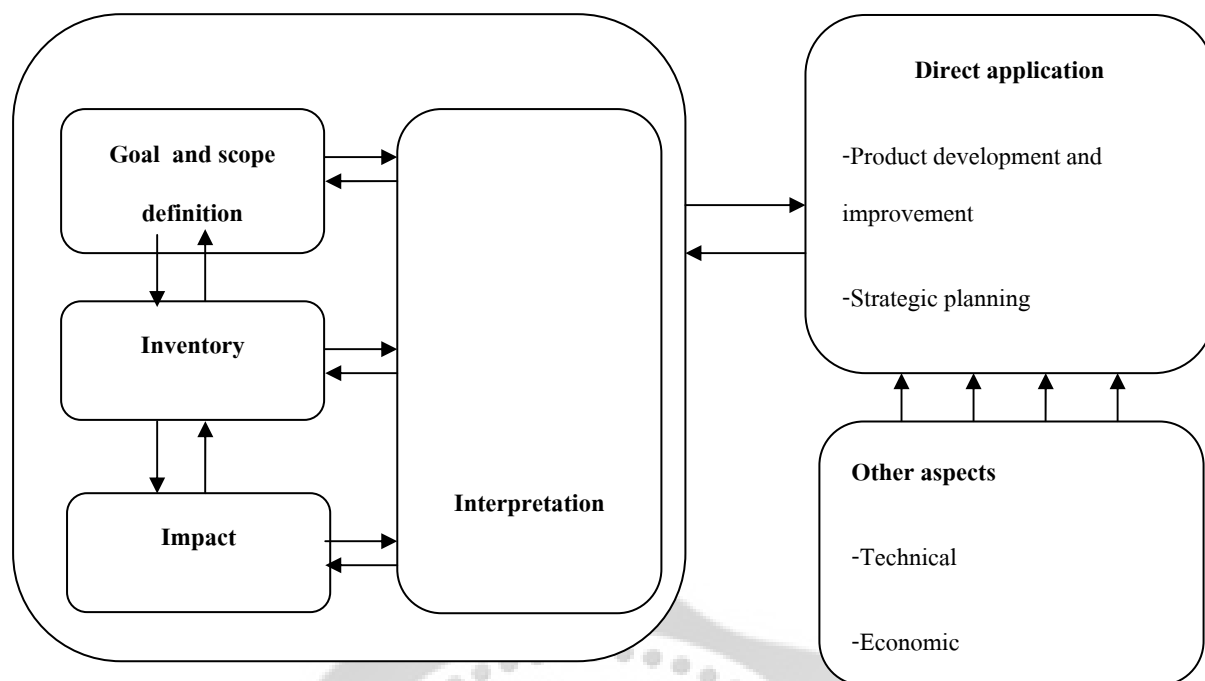
LCA ได้ถูกกำหนดให้เป็นการทำงานส่วนหนึ่งในมาตรฐาน ISO14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) ซึ่งอนุกรมของ ISO14000 ที่เกี่ยวข้องกับ LCA เป็นดังนี้ คือ

- ISO 14040 – Environmental Management Life Cycle Assessment – Principle and Performance
- 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

ขั้นตอนในการศึกษา Life Cycle Assessment

สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การแปลผลและการตีความ (Interpretation)



ภาพประกอบ 1 ขั้นตอนการทำ LCA

ที่มา: ISO 14040 (1997)

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

- การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal)
- การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope)
- การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional unit)
- ขอบเขตของระบบ (System boundaries)
- คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

1.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal)

เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด การตั้งเป้าหมายจะต้องชัดเจนโดยรวมถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้ และผู้ใช้ผลการศึกษา

1.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope)

เป็นการระบุสิ่งที่ต้องการประเมิน และรายละเอียดภายในระบบซึ่งรวมถึงวิธีการประเมิน โดยการกำหนดขอบเขตต้องครอบคลุมถึง หน้าที่ของระบบ หน่วยหน้าที่ ระบบที่ต้องการศึกษา ขอบเขตของระบบ วิธีการลงบัญชี วิธีการลงบัญชี ข้อมูลที่ต้องการ สมมติฐานที่ใช้ ข้อจำกัดของการศึกษา คุณภาพของข้อมูลเบื้องต้น

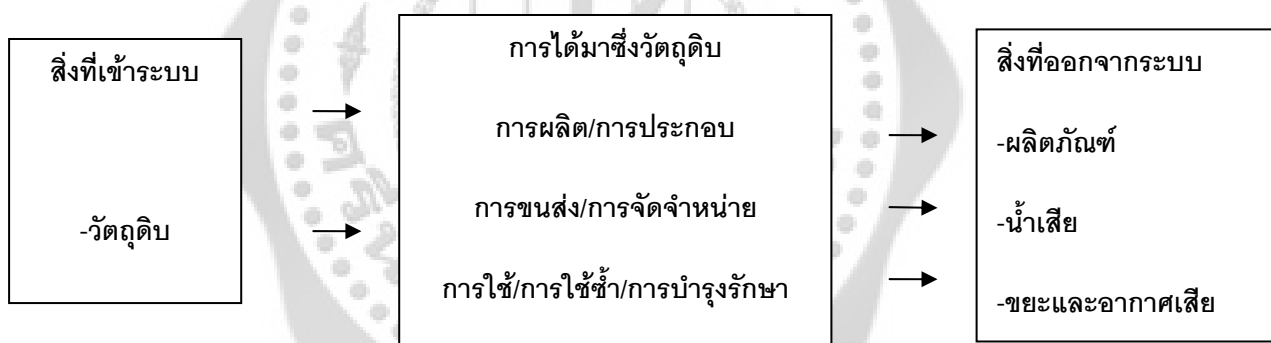
การกำหนดขอบเขตของการศึกษาคควรจะอธิบายหรือมีการกำหนดอย่างเพียงพอเพื่อให้แน่ใจได้ว่ารายละเอียดในการศึกษามีความเกี่ยวข้อง และเพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้

1.3 การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional unit)

หน่วยหน้าที่ถูกใช้ตัวอ้างอิงหรือพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บข้อมูลเข้าและข้อมูลออกของระบบ หน่วยหน้าที่ของระบบควรจะมีการระบุอย่างชัดเจนและสามารถวัดค่าได้ซึ่งประโยชน์ของการกำหนดหน่วยหน้าที่ คือ การเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของหลายผลิตภัณฑ์ เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดหน่วยหน้าที่ ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของ ผลิตภัณฑ์ความคงทนของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติพื้นฐาน

1.4 ขอบเขตของระบบ (System boundaries)

เป็นการกำหนดกระบวนการ ข้อมูลเข้าข้อมูลออกที่รวมอยู่ในการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ดังนั้น ขอบเขตของระบบ คือ ขอบเขตระหว่าง ผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ หน่วยที่รวบรวมวัสดุ และพลังงาน ที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นหน่วยงานต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง โดยที่สามารถแบ่งกระแสน์ตอนของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงาน จากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่าง ๆ



ภาพประกอบ 2 ขอบเขตของระบบในการทำงาน LCA

1.5 คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

คุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ ย่อมมีผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่สนใจ คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบายและประเมินได้ภายใต้ประเด็นดังต่อไปนี้

- คุณภาพของข้อมูลในบัญชีรายการ
- ช่วงเวลาในการศึกษา
- ระดับพื้นที่ของการศึกษา เช่น ระดับโลก ระดับภูมิภาค
- เทคโนโลยีของการศึกษา

- แหล่งที่มาของข้อมูล
- วิธีในการได้มาของข้อมูล
- ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล รวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล

2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory analysis)

การจัดทำบัญชีรายการ เป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

2.1 การคัดเลือกข้อมูล (Data collection)

การวิเคราะห์บัญชีรายการจะรวมถึงการคัดเลือกข้อมูลและการจัดการข้อมูลที่จะนำมาใช้ของการใช้วัตถุดิบ ของเสียของมลภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทั้งหมดของวัฏจักรชีวิต

2.2 การกลั่นกรองขอบเขตระบบ (Refining system boundaries) ขอบเขตของระบบจะถูกกลั่นกรอง หลังจากการเก็บข้อมูลชุดแรก ตัวอย่างของผลในการกลั่นกรองข้อมูล เช่น การตัดสินใจในการเลือกหรือตัดกระบวนการใดออกไป การตัดวัตถุดิบบางส่วนออกไป การเพิ่มหน่วยการผลิตซึ่งแสดงว่ามีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ผล

วิธีการคำนวณ (Calculation procedures)

การคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งอาจอยู่ในรูป เอ็กเซลโลดัส หรือ LCA โปรแกรม การเลือกโปรแกรมให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้อมูล

2.3 การได้ข้อมูลที่ถูกต้อง (Validation of data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการในระหว่างการเก็บรวบรวม หรือคัดเลือกข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่น ๆ

2.4 การเชื่อมโยงข้อมูล (Relating data to the specific system)

พื้นฐานของข้อมูลเข้าและข้อมูลออก บ่อยครั้งที่ได้จากโรงงานในหน่วยที่กำหนดเอง เช่น พลังงาน ในหน่วย เมกกะจูลต่อเครื่องจักรต่อสปีดาร์ หรือ ของเสียต่อระบบการจัดการของเสีย เช่น น้ำหนักของโลหะต่อปริมาตรน้ำเสีย ซึ่งไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงนั้นมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิต

2.5 การจัดสรรข้อมูล (Allocation)

เมื่อต้องการการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปได้ที่จะจัดการเพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบและผลที่ได้จากขอบเขตของระบบได้ทั้งหมด การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

- การเพิ่มขอบเขตของระบบ
- การจัดสรรผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ตรงปัญหาการศึกษา

ซึ่งการจัดสรรเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการเพิ่มขอบเขตของระบบ เนื่องจากเป็นการลดปัญหาความซับซ้อนของระบบและเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

จากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการ (Inventory) เราจะทราบข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญแต่บางอย่างไม่ใช่ เพื่อให้ LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม แหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ การประเมินผลกระทบมีขั้นตอนดังนี้

3.1 การจัดกลุ่มผลกระทบและการประเมิน (Classification and Characterization)

จะมีการคำนวณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ (Potential Environmental Impacts) สำหรับการปลดปล่อยมวลสารว่ามวลสารที่ปลดปล่อยออกมาปริมาณเท่าใด ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แล้วนำมาเขียนเป็นกราฟจัดแบ่งแยกเป็นกลุ่ม ๆ ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น นำผลจาก green house effect มารวมกันเป็นกลุ่ม เป็นต้น

3.2 การเทียบหน่วย (Normalization)

จากขั้นตอน Characterization จะพิจารณาต่อว่า การใช้ทรัพยากรและผลกระทบที่จะเป็นไปได้อย่างไรเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อมในการทำงานมีผลแค่ไหน ในความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสังคม มองเป็นภาพรวมทั้งหมด โดย จะนำจำนวนประชากรในพื้นที่ที่ทำการวิจัยในช่วงนั้น ๆ มาเฉลี่ย หรืออาจกล่าวได้ว่านำผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่คำนวณได้จากขั้นตอน Characterization มาพิจารณาเปรียบเทียบว่า ในจำนวนประชากร 1 คน ทำให้เกิดผลกระทบได้แค่ไหนใน 1 วัน หรือในช่วงเวลา ที่กำหนด

3.3 การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

ในขั้นตอนนี้เราจะเปรียบเทียบว่า การใช้แหล่งทรัพยากรใดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุดโดยนำ Weighting factor มาคูณผลที่ได้จากขั้นตอน Normalization ผลที่ได้สุดท้ายนี้จะชี้ให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงที่สุดต่อมนุษย์ ซึ่ง Weighting factor เกิดจากการคำนวณของความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ที่มีต่อมนุษย์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

4. การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาบทวนจากข้อมูล และอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด การแปลผลของการศึกษาคควรคำนึงถึงความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ด้วย

หลังจากที่วิเคราะห์ LCA เสร็จเรียบร้อยแล้ว พบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดเป็นอันตรายที่สุด และเกิดจากกระบวนการใด การวิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ไขสิ่งแวดล้อม แต่ในโลกอุตสาหกรรมขั้นตอนการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงมักขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

4.1 ทางเศรษฐศาสตร์

- บริษัทหรือองค์กรใด ๆ ก็ตามจะยังต้องการที่จะคงไว้ซึ่งผลของกำไร เมื่อมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น

4.2 ทางผู้บริโภค

- นิสัยของผู้บริโภค ปัจจุบันนิสัยในการบริโภคของคนเรามากยึดติดอยู่กับสมัยนิยมหรือแฟชั่น ซึ่งถูกควบคุมโดยผู้ผลิตเพราะฉะนั้นธรรมเนียมในการจับจ่ายใช้สอยจะเปลี่ยนแปลงเสมอ ๆ ผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ อาจขายได้เป็นอย่างดี ไม่ใช่เพราะว่าผลิตภัณฑ์เก่า ๆ ไม่ดี แต่เป็นเพราะของใหม่มีลักษณะที่แตกต่างออกไป อาจเป็นในเรื่องของสีหรือรูปทรง

- ความพึงพอใจของผู้บริโภค จากมุมมองทั่วไปของผู้บริโภค ความต้องการพื้นฐานขึ้นอยู่กับความพึงพอใจประมาณ 80% ของความต้องการที่ถูกสร้างขึ้นสามารถเปลี่ยนได้โดยความรู้สึกหรือการศึกษา ปัจจุบันการปลูกสำนึกในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้มีมากขึ้น ถ้าผู้บริโภคเห็นด้วยกับผลิตภัณฑ์อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากกว่า ด้วยเหตุนี้บริษัทหรือองค์กรที่มีความสามารถในการจัดการเรื่องสิ่งแวดล้อมย่อมได้เปรียบ

โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่าง ๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และแก้ปัญหาในการจัดการกับข้อมูลในปริมาณมาก การประเมินผลของ LCA บางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นในการประเมิน LCA อย่างสมบูรณ์ นั่นคือ ประกอบด้วย การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลกระทบ และบางโปรแกรมมีการแปลข้อมูล ในหลายโปรแกรมจะมีตัวอย่างโปรแกรมให้ผู้สนใจเข้าไปศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ตัวอย่างโปรแกรมเหล่านี้มีข้อจำกัดในการศึกษา ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้โปรแกรม คือ ในเรื่องของฐานข้อมูลและวิธีในการคำนวณผลกระทบ คุณสมบัติของโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตแต่ละโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 5

ตาราง 2 การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design System	Gabi 3	SimaPro 4.0	TEAM	Umberto 3.5
ประเทศจำนวน	เยอรมนี	เนเธอร์แลนด์	เดนมาร์ก	สวีเดน	เยอรมนี	เนเธอร์แลนด์	ฝรั่งเศส	เยอรมนี
ลิขสิทธิ์ที่ขายได้	62	70	100	>200	250	>600	>600	>350
ราคา (ในปี 2000)	\$6,000	\$215	\$700	\$3,200	\$2,500-8,000	\$2,540	\$3,000	\$1,000- 20,000
เวลาที่ใช้ในการศึกษา	1 วัน	<2 ชั่วโมง	<1 สัปดาห์	<1 สัปดาห์	<1 เดือน	<1 วัน	<1 วัน	<1 สัปดาห์
วิธีในการประเมินผลกระทบ	Several	All single score Method	EDIP, Environmental Method	EPS	Eco Indicator & Create your own method	EI95,EI99,EP97, CML,EDIP,EPS	CML,EPA, IPCC,CVCH	Eco indicator, Swiss, Eco point
เป็นไปตามมาตรฐาน								
ISO 14040แสดงผล	X	-	X	X	X	X	X	X
ในรูปตารางแสดงผล	X	X	X	X	X	X	X	X
ในรูปกราฟการ	X	X	X	X	X	X	X	X
ปรับปรุงข้อมูลแสดง	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ช่วงเวลาอื่น	ทุกปี	ทุกปี	ทุก 2 ปี	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น
ค่าทางสิ่งแวดล้อม								
เป็นหน่วย Pt.	-	x	x	-	-	-	-	-
สามารถแสดงผลเพื่อ								
เปรียบเทียบระหว่าง	x	-	x	x	x	x	x	x
ผลิตภัณฑ์ได้								

ตาราง 2 (ต่อ)

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design System	Gabi 3	SimaPro 4.0	TEAM	Umberto 3.5
สามารถแสดงผลเพื่อ เปรียบเทียบระหว่าง ผลิตภัณฑ์ได้	x	-	x	x	x	x	x	x
สามารถดึงผลการ ประเมินออกจาก โปรแกรมได้	x	x	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับวิศวกร	x	x	x	x	-	x	-	x
ออกแบบ ตรงตามเป้าหมาย สำหรับวิศวกร	x	-	x	x	x	x	x	x
สิ่งแวดล้อม ตรงตามเป้าหมาย สำหรับผู้เชี่ยวชาญ	-	-	-	x	x	x	x	x
ด้าน LCA								
มีฐานข้อมูล	x	x	x	x	x	x	x	x
สามารถเพิ่มข้อมูล เข้าไปใหม่ได้	x	x	x	x	x	x	x	x
x	หมายถึง มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม							
-	หมายถึง ไม่มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม							

ที่มา: นงกรณ์ช (2547)

โปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+

โปรแกรม Thai GHGs+ Software เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งเป็นระบบและซอฟต์แวร์ด้าน LCA รายแรกของประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติเพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆ ของการทำประเมินวัฏจักรชีวิต มาจัดอย่างเป็นระบบ โดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้จะนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม สามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้

- 1) กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผล
- 2) การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น
- 3) การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น Eco-indicator 95, Eco-indicator 99, EDIP, EPS 2000 เป็นต้น
ซึ่งขั้นตอนในการประเมินผลกระทบของโปรแกรมจะทำการประเมินเป็นขั้นตอนดังนี้
 Characterization: เป็นการจำแนกผลกระทบของวัตถุดิบ พลังงาน หรือ สิ่งต่าง ๆ ที่มีส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นว่ามีผลกระทบอย่างไร อาทิเช่น สาร CO₂ ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้น เป็นต้น
 Damage assessment: เป็นการแปลงข้อมูลที่ทำ characterization แล้วให้อยู่ในรูปของผลกระทบหลัก 3 ทางด้วยกัน คือ ผลกระทบต่อมนุษย์ นิเวศวิทยา และ การเสื่อมสลายของทรัพยากร
 Normalization: คือขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพ ของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม
 Weighting: เป็นขั้นตอนการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อัตราส่วนของความสำคัญ (weighting factor) ขึ้นอยู่กับผู้ประเมิน
- 4) การแปลความหมายข้อมูล: เป็นการนำเอาผลจากการทำการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายตามขอบเขตที่ระบุ

วิธีการประเมินแบบ EDIP

การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Environmental Design of Industrial Product (EDIP) ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเดนมาร์ก ปี 1996 ซึ่งประกอบด้วยด้วยจำแนกกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่ม (Characterization) ซึ่งอาจรวมถึงการเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score)

ดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมในวิธี EDIP มีทั้งหมด 16 กลุ่ม ได้แก่

1. Global warming (GWP100)
2. Ozone depletion
3. Acidification
4. Eutrophication
5. Photocamial smog
6. Ecotoxicity water chronic
7. Ecotoxicity water acute
8. Ecotoxicity soil chronic
9. Human toxicity air
10. Human toxicity water
11. Human toxicity soil
12. Bulk waste
13. Hazardous waste
14. Radioactive waste
15. Slags/ashes
16. Resources (all)

ขั้นตอนในการประเมินแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. Classification/Characterization เป็นขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะที่ปล่อยออกมา กับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ในกรณีภาวะโลกร้อนขึ้น ก๊าซหรือสารต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนขึ้นจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ CO₂-equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 6

ตาราง 3 ค่า Global warming potential ในเวลาต่าง ๆ กัน

ก๊าซต่าง ๆ	สูตรเคมี	GWP:Global warming potential		
		20 ปี	100 ปี	500 ปี
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	62	25	8
CFC 11	CFCI ₃	5000	4000	1400
CFC 12	CF ₂ Cl ₂	7900	8500	4200
CFC 134a	CH ₂ FCF ₃	3300	1300	420

จากนั้นนำมาคำนวณหาศักยภาพของผลกระทบนั้น ๆ ด้วยสมการที่ 1

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

ค่า EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ

Q_i (Quantity of substance) คือ ปริมาณสารมลภาวะ i ที่ถูกปล่อยออกมา

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

2. Normalization เป็นขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพ ของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม ขั้นตอนนี้จะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งาน และสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ต่อคนต่อปี มีการคำนวณดังสมการที่ 2

$$NP_j (\text{Product}) = EP_j / (T \times ET_j) \quad (2)$$

ค่า NP_j (Product) (Normalized environmental impact potential) คือ ค่ามาตรฐานของศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์

T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (ปี)

ER_j (Normalization Reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบที่ j ใด ๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

วิธี EDIP อ้างอิงข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมจากปี 1990 ดังนั้น ER_{j90} หาได้จากอัตราส่วนของค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่อจำนวนประชากรในปี 1990 ได้การคำนวณสมการที่ 3

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

ตาราง 4 ค่า ER_{j90} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

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

3. Weighting สำหรับการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดที่มีค่าแตกต่างกันออกไป อัตราส่วนของความสำคัญ WF (Weighting factor) จะขึ้นอยู่กับประเมิน เช่น มีการนำเอานโยบายสิ่งแวดล้อมโลกในการลดมลภาวะแต่ละชนิดมาเป็นค่า WF ก็ได้ แต่โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro ได้ใช้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตของคน 1 คน ในหนึ่งพันคนต่อปี ซึ่งสมการการคำนวณได้จากสมการที่ 4 และ 5

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

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

ค่า WP_j (Weighted Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว มีหน่วยคือ milliperson-eq for target year (mPE_T)

WF_j (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ ซึ่ง WF_j ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมใด j ที่เกิดจากการกระทบของคนหนึ่งคนต่อปี (ER_{j90}) กับเป้าหมายของสังคมที่จะกำหนดให้ก่อมลพิษได้ในปี 2000 (ER_{j2000}) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของนโยบายทางสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้น ๆ สามารถเขียนเป็นสมการคำนวณได้ดังสมการที่ 6

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

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

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

ค่า EP_{j2000} เป็นค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปี 2000
ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 8

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

ซึ่งค่า PRT_i (Political reduction target) คือ เป้าหมายการลดลง (%) ของสาร i ระหว่างปีที่เป็นปีอ้างอิงปีที่เป็นเป้าหมาย

TY_i คือ ปีเป้าหมายตามนโยบายการลดลงของสาร i

RY_i คือ ปีอ้างอิง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lee (1997) ทำการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของตู้เย็น 2 ชนิด คือรุ่นเก่า (Model A) และรุ่นใหม่ (Model B) จากบริษัท Samsung ในประเทศเกาหลี โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของผลิตภัณฑ์ ปรากฏว่า Model B ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า Model A ในทุก ๆ ดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม (impact categories) ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรุงอัตราการใช้พลังงานและลดการใช้วัตถุพิษสำหรับผลิตชิ้นส่วน แสดงในตารางที่ 1

ตาราง 5 ผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในขั้น characterization

	Resource Depletion (kg)	Global Warming (g CO ₂ - eq)	Ozone Depletion (g CFC11- eq)	Photo- Oxidant Creation (g ethane- eq)	Acidification (g SO ₂ -eq)	Eutrophication (g NO ₃ ⁻ -eq)	Human Toxicity (m ³ /g)	Eco Toxicity (m ³ /g)
Model								
A	9.34E-11	4.94E+06	6.92E+00	4.03E+03	3.28E+04	2.05E+03	5.58E+04	5.29E+05
Model								
B	9.25E-11	4.78E+06	6.87E+00	3.92E+03	3.19E+04	2.00E+03	5.41E+04	5.05E+05

และในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของตู้เย็นทั้ง 2 รุ่นนั้น พบว่าขั้นตอนการใช้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (65.33%) รองลงมา คือ ขั้นตอนประกอบตัวโครงตู้ (14.75%) และขั้นตอนการฉีกโฟมที่ฝาตู้ (4.73%) ซึ่งสามารถวิเคราะห์และหาขั้นตอนที่ต้องการแก้ไขในขั้นตอนการผลิตได้เมื่อไม่รวมผลกระทบจากการใช้ผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 2.6

ตาราง 6 สัดส่วนของผลกระทบในแต่ละขั้นตอน

Component/Process	Share (%)	
	Include Use Phase	Exclude Use Phase
Use Phase	65.33	
Cabinet Assy	14.57	42.04
Assy Foam Door, Ref	4.73	13.64
Cabi Rear Frame	4.19	12.08
Assy Foam Door, Fre	2.81	8.10
Assy Liner	1.18	4.09
Compressor	1.18	3.40
Solder-Silver	0.76	2.19
Urethane (Cabi)	0.72	2.06
Assy Packing	0.72	2.06
Assembly Main	0.61	1.76
After Use of refrigerator	-0.36	-1.03
Others	6.15	9.62

Tukker (2000) เปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 2 วิธี คือการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) กับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) พบว่าการทำ EIA เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เฉพาะในส่วน of โรงงานหรือโครงการเท่านั้นเพื่อใช้ช่วยในการยืนยันการตัดสินใจทำกิจกรรมโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ส่วนการทำ LCA เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ทาง คือ ผลกระทบทางสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบทางระบบนิเวศวิทยา และการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการได้ ดังนั้น จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการทำ EIA ได้ด้วย

Cho (2002) เสนอแนวคิดในการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อมสำหรับคอมเพรสเซอร์ของตู้เย็น โดยนำผลการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) การวิเคราะห์ต้นทุนในเรื่องการนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) เวลาที่ใช้ในการประกอบ (assembly) ส่วนต่าง ๆ ของคอมเพรสเซอร์ ความสามารถในการประกอบ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการแยกส่วนประกอบ (disassembly) และความสามารถในการแยกส่วนประกอบ นอกจากนี้ยังนำเอาวิธี Analytical Hierarchy Process มาเป็นปัจจัยร่วมกันในการ

ออกแบบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ของคอมเพรสเซอร์ ผลที่ได้คือ คอมเพรสเซอร์ที่ได้รับการออกแบบใหม่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง และสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ด้วย

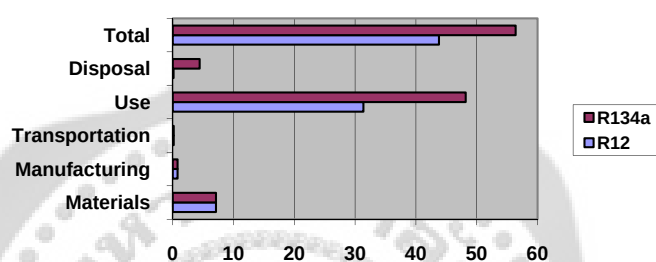
Neri et al. (2002) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์ที่ผลิตโดยบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศอิตาลี โดยใช้โปรแกรม SimaPro 3.1 ทำการประเมินด้วยวิธี Ecopoint และ Eco-indicator 95 พบว่าชิ้นส่วนของคอมเพรสเซอร์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ stator และ rotor ผลกระทบที่สำคัญได้แก่ carcinogenic substances, heavy metals และ acidification ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่มีลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ และพบว่าในช่วงของการใช้งานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 95.6% สำหรับวิธี Ecopoint และ 98.38% สำหรับวิธี Eco-indicator 95 (แสดงในตารางที่ 3)

ตาราง 7 เปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างการใช้วิธี Ecopoint กับวิธี Eco-indicator 99

Compressor	ECOPOINT (%)	ECOINDICATOR (%)
Electricity Italy for Paint		
Electricity Italy for Indirect Centres	0.044	0.057
Electricity Italy for Assembly	95.6	98.38
Electricity for Use	0.16	0.33
Transports for Distribution	0.014	0.03
Transports for Service	-	0.52
Compression group	0.64	0.65
Tank group	0.012	0.012
Packaging	0.014	0.021
Auxiliary materials	499 Pt	1608 mPt
Total damage		

เศรษฐ์ (2544) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นพาณิชย์ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ด้วย วิธี คือ 1. Numerical Environmental Total Standard (NETS) และวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เรียกว่า SimaPro 4.0 ซึ่งพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนสารทำความเย็นจาก R12 เป็น R134a โดยทำการวิเคราะห์ตู้เย็นพาณิชย์ 3 รุ่น แบ่งเป็น รุ่น CRB120 ขนาดเล็กมี 1 ประตู ใช้สารทำความเย็นได้ทั้ง R12 และ R134a ผลการศึกษาวิเคราะห์ด้วยวิธี (NETS) และโปรแกรม SimaPro 4.0 พบว่าตู้เย็นพาณิชย์ CRB120 ที่ใช้ R12 เป็นสารทำความเย็น มีค่า EER เท่ากับ 8.75 Btu/h/W พบว่ามีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมเท่ากับ 43.78

(NETS) และ 11.4 PE_T และตู้เย็นพาณิชย์ CRB120 ที่ใช้ R134a เป็นสารทำความเย็น มีค่า EER เท่ากับ 5.58 Btu/h/W จะมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมเท่ากับ 56.40 (NETS) และ 16.6 PE_T ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ตู้เย็นพาณิชย์ที่ใช้ R134a เป็นสารทำความเย็นที่เคยทราบกันว่ามีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าตู้เย็นพาณิชย์ที่ใช้ R12 นั้น จริงๆ แล้วมีบางสิ่งที่แตกต่างกัน ในกรณีตู้เย็นพาณิชย์ที่ใช้ R12 เป็นสารทำความเย็น ซึ่งทำให้มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูงกว่า โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าในขั้นตอนของการทิ้งทำลาย (Disposal) แต่เมื่อเปรียบเทียบโดยรวมแล้ว แบบใช้ R12 เป็นสารทำความเย็นจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า 12.62 (NETS) หรือ 23% ดังภาพที่ 2.3



ภาพประกอบ 3 การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของตู้เย็นพาณิชย์ CRB120 ที่ใช้ R12 R134a เป็นสารทำความเย็น

ณรงค์ช (2547) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรตารีคอมเพรสเซอร์ขนาด 18,000 บีทียูต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 และวิธี Eco-indicator 99 ในการประเมินผลกระทบ ผลการศึกษาพบว่า ในขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเนื่องจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งานคิดเป็น 9.45 kPt. ขั้นตอนการผลิตคิดเป็น 0.0015 kPt. ขั้นตอนการขนส่ง 0.000198 kPt. และขั้นตอนการจัดการกับผลิตภัณฑ์หลังจากหมดอายุ -0.00125 kPt. เมื่อพิจารณาในขั้นตอนการผลิต ซึ่งสามารถแยกออกเป็นสี่ส่วน คือ ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนภายใน การผลิตส่วนที่เป็นมอเตอร์ ส่วนที่เป็นชิ้นส่วนทางเครื่องกลและการประกอบส่วนต่าง ๆ พบว่า ในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นมอเตอร์ จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คิดเป็น 55.1 Pt. รองลงมาคือ ชิ้นส่วนทางเครื่องกล 5.46 Pt. ชิ้นส่วนภายนอก 4.62 Pt. และขั้นตอนการประกอบ 1.56 Pt. โดยผลการวิจัยนี้ทำให้สามารถทราบถึงส่วนที่ควรนำไปพัฒนาและปรับปรุงให้โรตารีคอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อเป็นการลดภาระด้านสิ่งแวดล้อมและลดการใช้ทรัพยากร

โอมฤทธิ (2547) ประเมินวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์แบบหมุนขนาด 18,000 บีทียูต่อชั่วโมง สำหรับใช้ในเครื่องปรับอากาศ โดยใช้โปรแกรม SimaPro 5.1 และโปรแกรม Gabi 4.0 ควบคู่กับวิธี “Eco-indicator 95” ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยใช้

ฐานข้อมูลของประเทศในยุโรป และฐานข้อมูลของประเทศไทยบางส่วน เช่น ฐานข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าและฐานข้อมูลการผลิตน้ำประปา พบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์แบบหมุน มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 112.59 Pt. โดยช่วงการใช้งานส่งผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ 111.80 Pt. รองลงมา คือ ช่วงการผลิตชิ้นส่วนวัตถุดิบ 0.353 Pt. ช่วงการผลิตคอมเพรสเซอร์แบบหมุน 0.094 Pt. ช่วงการขนส่ง 0.074 Pt. และช่วงการจัด -0.054 Pt. และแนวทางในการปรับปรุงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การนำระบบอินเวอร์เตอร์ มาใช้ควบคุมการทำงาน การลดขนาดของคอมเพรสเซอร์แบบหมุนลง การใช้วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เช่น การเปลี่ยนวัสดุบางชิ้นจากเหล็กหล่อเป็นเหล็กขึ้นเตอรริง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าโดยส่วนใหญ่มักจะใช้โปรแกรมประเมินผลและฐานข้อมูลทรัพยากรของต่างประเทศทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-Indicator ทำให้ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียว และผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจไม่ตรงกับความเป็นจริง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี Eco-Indicator ควบคู่ไปกับวิธี วิธี Environmental Design of Industrial Product (EDIP) ซึ่งจะทำให้ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องต่าง ๆ ที่เลือกศึกษา ดังนี้

1. Global warming (GWP100)
2. Ozone depletion
3. Acidification
4. Eutrophication
5. Land use

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในที่นี้ ได้อ้างอิงมาจากวิธีการของ Wenzel et al. (1997) ซึ่งได้มาจากการรวมหลักการทั่วไปของ ISO14000 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+ Software สำหรับประมวลผลข้อมูล และประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงดำเนินการตามขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งมี 4 ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการวิจัย (Goal and scope definition)

1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal)

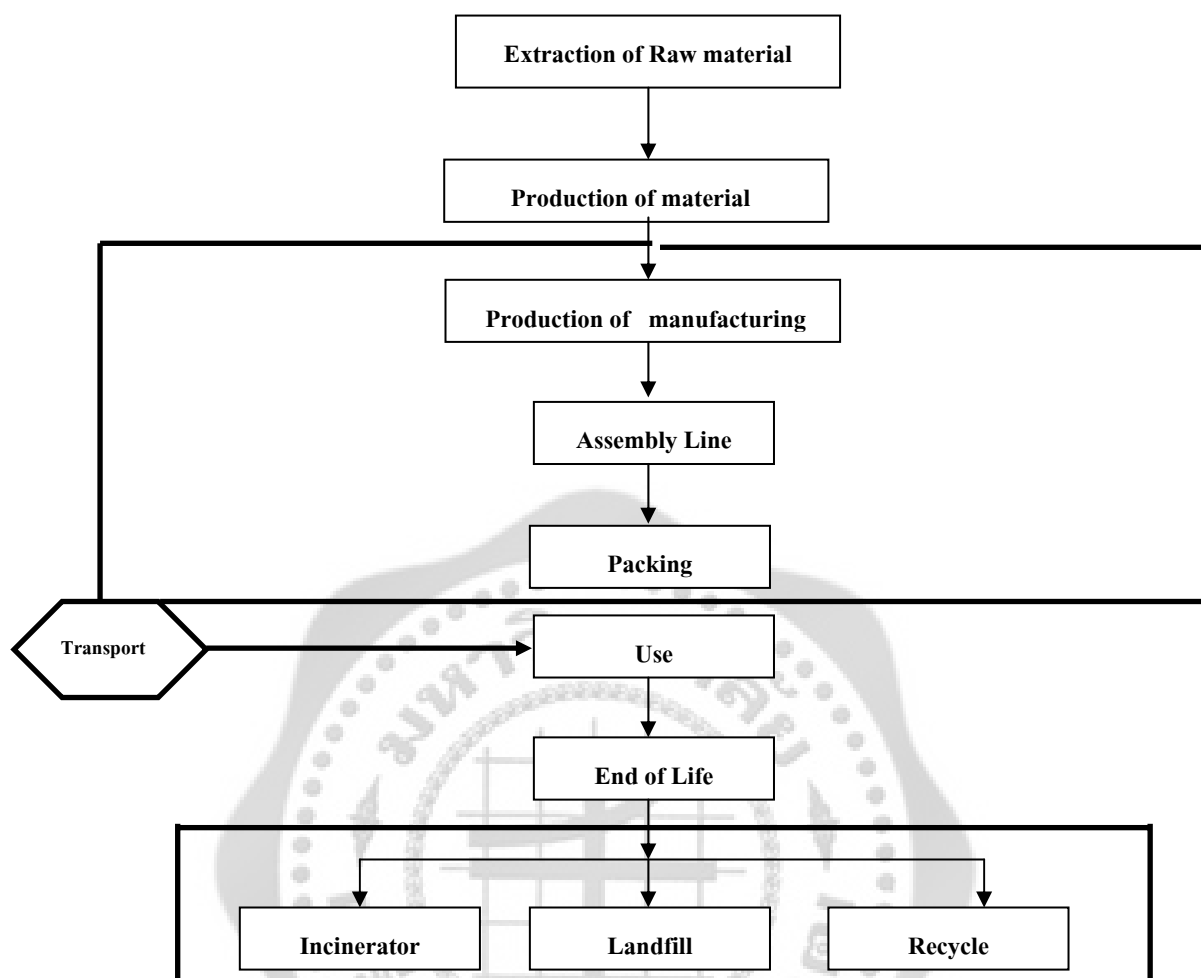
เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบ้านเรือนทั่วไป และผลลัพธ์ที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อที่จะลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์

1.2 หน่วยหน้าที่การใช้ (Functional Unit)

กำหนดหน่วยหน้าที่การใช้งาน คือ เครื่องปรับอากาศยี่ห้อเอและยี่ห้อ บี ระบบธรรมดา และระบบอินเวอร์เตอร์ แบบแยกส่วน (Split type) ขนาด 18,000 บีทียูต่อชั่วโมง ใช้สารทำความเย็นชนิด R22 โดยมีสมมติฐานว่ามีการใช้งานเท่ากับ 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 365 วันต่อปี ตลอดช่วงอายุของเครื่องปรับอากาศ 10 ปี โดยมีไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่ใช้ในช่วงการใช้งานเท่านั้น ทั้งนี้ไม่คำนึงถึงช่วงเวลาบำรุงรักษา

1.3 การกำหนดขอบเขตของงานวิจัย (Scope and System boundary)

ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิต กระบวนการผลิตชิ้นส่วน การประกอบเครื่องปรับอากาศและการบรรจุ การขนส่งผลิตภัณฑ์ การใช้งาน จนกระทั่งการจัดการหลังหมดอายุ



ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนในแต่ละกระบวนการผลิตการผลิตเครื่องปรับอากาศ

การเตรียมวัตถุดิบ (Production of material)

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ หมายถึง ขั้นตอนการตั้งแต่วัตถุดิบออกมาจากแหล่งธรรมชาติ จนกระทั่งกลายมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ เช่น การผลิตเหล็กพิก (pig iron) การผลิตเม็ดพลาสติกเป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+ Software

การผลิตเครื่องปรับอากาศ (Production of manufacturing)

ขั้นตอนการผลิตเครื่องปรับอากาศ หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การนำเอาวัตถุดิบมาผลิตเป็นชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศจนถึงการนำชิ้นส่วน มาประกอบเป็นเครื่องปรับอากาศ รวมถึงการบรรจุเครื่องปรับอากาศเพื่อการขนส่ง กระบวนการผลิตเครื่องปรับอากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 9 กระบวนการ ซึ่งเริ่มตั้งแต่ การเตรียมส่วนประกอบ การประกอบตัวถังเครื่องปรับอากาศ การติดตั้งน๊อตความร้อน บรรจุฟีนส์ และ คอยล์ในเครื่องปรับอากาศ การประกอบชุดมอเตอร์ การบรรจุ

มอเตอร์ในเครื่องปรับอากาศ การบรรจุฉนวนที่ทาพื้นโค้ดและติดฉนวนกันความร้อน จากนั้นเป็นการประกอบชิ้นส่วนและตกแต่งให้เรียบร้อยแล้ว กระบวนการสุดท้ายเป็นการบรรจุเครื่องปรับอากาศโดยมีโฟมกันกระแทกและบรรจุลงในกล่องกระดาษแข็ง

การขนส่งผลิตภัณฑ์ (Transportation)

ขั้นตอนการขนส่ง หมายถึง การขนส่งเครื่องปรับอากาศจากโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศไปยังตัวแทนจำหน่ายทั่วประเทศ โดยไม่รวมถึงการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากขาดข้อมูลของการขนส่งในส่วนดังกล่าว

การใช้งาน (Use)

ในขั้นตอนการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศชนิดที่ศึกษานี้ สมมุติให้ตลอดอายุการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี

การจัดการหลังหมดอายุ (Disposal)

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดในการจัดการกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งาน ทำให้การรวบรวมข้อมูลการกำจัดเครื่องปรับอากาศที่หมดอายุทำได้ไม่สมบูรณ์

1.4 การตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดในงานวิจัย (Limitation and Assumption)

การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตในประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นฐานข้อมูลการผลิตวัตถุดิบหลายชนิดของประเทศไทยยังไม่มีรวบรวมไว้อย่างเป็นระบบงานวิจัยนี้จึงมีการใช้ฐานข้อมูล ทั้งที่เป็นของประเทศไทยและของต่างประเทศ ซึ่งได้จากโปรแกรม Thai GHGs+ Software โดยแบ่งเป็น ข้อมูลการผลิตวัตถุดิบต่างๆ เช่น ข้อมูลการผลิตแร่เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม และข้อมูลผลิตเม็ดพลาสติก ข้อมูลเหล่านี้จะใช้จากฐานข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรม Thai GHGs+ Software ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บจากกลุ่มประเทศในยุโรปเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นข้อมูลการผลิตกล่องกระดาษแข็ง การผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตน้ำประปา เป็นข้อมูลที่เก็บขึ้นในประเทศไทย

ข้อจำกัดของการศึกษา

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีการนำชิ้นส่วน มาผลิตและประกอบมีเป็นจำนวนมาก และข้อมูลที่ได้จากsuppliers ต่างๆจึงยังมีไม่มากพอผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+ Software และ คำนวณเฉพาะชิ้นส่วนที่สำคัญเท่านั้น นอกจากนี้ สำหรับเครื่องปรับอากาศ ผู้วิจัยยังไม่สามารถหาข้อมูลพลังงานที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนสำคัญต่างๆ ได้

ดังนั้นในการทำบัญชีรายการข้อมูลและการคำนวณหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขณะการผลิตเครื่องปรับอากาศ จึงขึ้นกับชนิดและปริมาณของวัตถุดิบในชิ้นส่วนที่สำคัญ

1. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)

หลังจากกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้วจึงวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือ การปล่อยของเสียออกสู่ อากาศ น้ำ และดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่อไป

2. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

งานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+ Software สำหรับเก็บประมวลข้อมูลและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยใช้การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Environmental Design of Industrial Product (EDIP) และวิธี Eco-Indicator 99 โดยการประเมินผลกระทบด้วยวิธี EDIP ซึ่งเป็นวิธีที่เข้าใจได้ง่ายในผลกระทบแต่ละกลุ่ม แต่เนื่องด้วยวิธีนี้จะไม่คิดผลกระทบเรื่องของการใช้ทรัพยากรในขั้นตอน normalization และ weighting โดยที่ค่า normalization factor และ weighting factor จะเท่ากับ ศูนย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้วิธี EDPI แสดงผลเฉพาะในขั้นตอน characterization เท่านั้น ส่วนการแสดงผลในขั้นตอน normalization และ weighting เพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว หรือที่เรียกว่า single score โดยใช้วิธี Eco-Indicator 99 ในการหาค่าดังกล่าว เนื่องจากวิธี Eco-Indicator 99 จะคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรเข้าไปด้วย

ดัชนีวัดทางสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณาในงานวิจัยนี้มี 5 กลุ่มจากทั้งหมด 12 กลุ่ม โดยเลือกกลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยมากที่สุดและเป็นกลุ่มผลกระทบที่สำคัญมากที่สุดก็คือ

1. ภาวะโลกร้อน (Global warming)
2. การลดลงของโอโซน (Ozone depletion)
3. ภาวะความเป็นกรด (Acidification)
4. ภาวะพืชน้ำเติบโตผิดปกติ (Eutrophication)
5. การเป็นขยะในสิ่งแวดล้อม (Land use)

3. การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนของการแปลผล เป็นการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ ในการลดผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จากขั้นตอนของการประเมินผลกระทบ ทำให้สามารถชี้ชัดลงไป ได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการ เปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง ณ จุดนั้น ๆ เพื่อให้คุณสมบัติทางสิ่งแวดล้อมดีขึ้น งานวิจัยนี้ได้ เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบ้านเพื่อให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

สถานที่และระยะเวลาในการดำเนินงาน

1. สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

1.1 สถานที่ในการเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตเครื่องปรับอากาศใช้ในบ้านที่เป็นข้อมูลเชิงลึกของบริษัทผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศ 2 แห่งจึงไม่สามารถเปิดเผยชื่อ บริษัทผู้ผลิตได้ ซึ่งในการรวบรวมข้อมูลจะทำการขอความร่วมมือจากโรงงานผู้ผลิตเข้าไปเยี่ยมชม โรงงานเพื่อทำความเข้าใจในกระบวนการผลิต และวิศวกรประจำโรงงานจะเป็นผู้รวบรวมข้อมูล ที่ต้องการ

1.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ผล

เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น ทำให้ฐานข้อมูลของประเทศไทยยังไม่มีรวบรวมอย่างชัดเจน ฐานข้อมูลของ ประเทศไทยที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ ฐานข้อมูลไฟฟ้า และฐานข้อมูลวัตถุดิบ โดยฐานข้อมูลอื่นจะ ใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป Thai GHGs+ Software ซึ่งเป็น โปรแกรมที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ เป็นผู้พัฒนาขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและ ใช้โปรแกรมที่กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

งานวิจัยนี้อธิบายตามลำดับวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ โดยเริ่มตั้งแต่ การเตรียมวัตถุดิบ การผลิตเครื่องปรับอากาศ การขนส่งผลิตภัณฑ์ การใช้งาน การจัดการหลังหมดอายุ

1. การเตรียมวัตถุดิบ (Production of materials)

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบออกมาจากแหล่งธรรมชาติ จนกระทั่งกลายเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ เช่น การผลิตเหล็กพิก (pig iron), การผลิตเม็ดพลาสติก เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลส่วนใหญ่จากฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+ Software สัดส่วนของวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง และปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิด จะแสดงดังตารางที่ 8

ตาราง 8 ส่วนประกอบหลักของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A

ระบบธรรมดา			ระบบอินเวอร์เตอร์		
Type	Weight (kg)	Ratio (%)	Type	Weight (kg)	Ratio (%)
Silicon steel	13.40	18.62	Silicon steel	12.70	17.88
Steel sheet	17.75	22.44	Steel sheet	16.55	23.30
Cast iron	8.00	11.11	Cast iron	8.25	11.61
Copper	10.10	14.03	Copper	10.10	14.22
HCFC-R22	1.60	2.22	HCFC-R22	1.50	2.11
Aluminum	4.20	5.83	Aluminum	4.53	6.38
Plastic	5.50	7.64	Plastic	5.50	7.74
Zinc	1.60	2.22	Zinc	1.85	2.60
Nylon	1.27	1.76	Nylon	1.27	1.79
Rubber	0.72	1.00	Rubber	0.84	1.18
Acrylic resin	0.64	0.88	Acrylic resin	0.64	0.90
PVC	2.30	3.19	PVC	2.30	3.24
PS Foam	1.85	2.57	PS Foam	1.85	3.24
Paper	3.25	4.52	Paper	3.25	4.58
Total	71.98	100 %	Total	71.03	100 %

ตาราง 9 ส่วนประกอบหลักของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B

ระบบธรรมดา			ระบบอินเวอร์เตอร์		
Type	Weight (kg)	Ratio (%)	Type	Weight (kg)	Ratio (%)
Silicon steel	15.28	23.35	Silicon steel	14.26	22.22
Steel sheet	15.40	23.54	Steel sheet	15.24	23.75
Cast iron	7.20	11.00	Cast iron	7.20	11.22
Copper	11.80	18.03	Copper	11.80	18.39
HCFC-R22	1.395	2.05	HCFC-R22	1.860	2.90
Aluminum	1.40	2.14	Aluminum	1.40	2.18
Plastic	5.40	8.25	Plastic	5.40	8.42
Zinc	0.90	1.38	Zinc	0.90	1.40
Acrylic resin	0.97	1.49	Acrylic resin	0.97	1.51
Nylon	0.25	0.38	Nylon	0.25	0.39
Rubber	0.80	1.22	Rubber	0.80	1.25
Polyester	0.38	0.58	Polyester	0.30	0.47
PS Foam	1.55	2.37	PS Foam	1.55	2.42
Paper	3.64	5.56	Paper	3.64	5.67
Total	65.43	100 %	Total	64.17	

2. การผลิตเครื่องปรับอากาศ (Production of manufacturing)

ขั้นตอนการผลิตเครื่องปรับอากาศหมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การนำเอาวัตถุดิบมาผลิตเป็นชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศจนถึงการนำชิ้นส่วนเหล่านั้น มาประกอบเป็นเครื่องปรับอากาศ รวมถึงการบรรจุเครื่องปรับอากาศเพื่อการขนส่ง กระบวนการผลิตเครื่องปรับอากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 9 กระบวนการ ซึ่งเริ่มตั้งแต่ การเตรียมส่วนประกอบ, การประกอบตัวถังเครื่องปรับอากาศ, การติดฉนวนกันความร้อน, บรรจุฟีนส์ และ คอยล์ในเครื่องปรับอากาศ,การประกอบชุดมอเตอร์, การบรรจุมอเตอร์ในเครื่องปรับอากาศ , การบรรจุถาดน้ำที่ทาฟีนโค้ดและติดฉนวนกันความชื้น จากนั้นเป็นการประกอบชิ้นส่วนและตกแต่งให้เรียบร้อยแล้ว กระบวนการสุดท้ายเป็นการบรรจุเครื่องปรับอากาศโดยมีโฟมกันกระแทกและบรรจุลงในกล่องกระดาษแข็ง รายละเอียดในแต่ละกระบวนการผลิตจำนวนชิ้นส่วนในแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการแสดงดังตาราง 10 และตาราง 11

ตาราง 10 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิตเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A 1 เครื่อง

Process	Electricity (kWh)
Assembly Line	102.37
Charge - refrigerant	0.74
Packing	0.86
Other	32.6
Total	136.63

ตาราง 11 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการผลิตเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B 1 เครื่อง

Process	Electricity (kWh)
Assembly Line	120
Packing	0.97
Total	120.97

3. การขนส่งผลิตภัณฑ์ (Transportation)

ขั้นตอนการขนส่ง หมายถึง การขนส่งเครื่องปรับอากาศจากโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศไปยังตัวแทนจำหน่ายทั่วประเทศ ทั้งนี้จะไม่รวมถึงการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศและกระจายสินค้าจากโกดังที่เก็บไปยังตัวแทนจำหน่ายทั่วประเทศ เนื่องจากขาดข้อมูลของการขนส่งในส่วนดังกล่าวในตารางที่ 12 ผลิตภัณฑ์จะถูกขนส่งจากโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศ (บริษัท A และบริษัท B) ไปยัง (โกดัง) เฉลี่ยเป็นระยะทาง 100 กม.

ตาราง 12 ข้อมูลขนส่งผลิตภัณฑ์

สถานที่จัดส่ง	ชนิดของรถ	ขนาดบรรทุก	ระยะทางที่ขนส่งไปที่หมาย
บริษัท A และ B	10 ล้อ	60 ชุด	เฉลี่ย 100 กม.
ตัวแทนจำหน่ายทั่วประเทศ	10 ล้อ	60 ชุด	

4. การใช้งาน

- ในขั้นตอนการใช้งานของเครื่องปรับอากาศชนิดที่ศึกษานี้ สมมติให้ตลอดอายุการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี
- ไม่มีการซ่อมบำรุง เนื่องจากขาดข้อมูลในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน
- ช่วงการใช้งานเครื่องปรับอากาศใช้เพียงพลังงานไฟฟ้าและสารทำความเย็น R22 ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 4.6 4.7 4.8 4.9

ตาราง 13 การใช้พลังงานไฟฟ้าและในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบธรรมดาเยื่อ A

	hr /day	Day/yr	Lifetime (yr)	Electricity (kWh)	Refrigerant-R22 (kg)
Usage	8	365	10	45,406	1.60

ตาราง 14 การใช้พลังงานไฟฟ้าและในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์เยื่อ A

	hr /day	Day/yr	Lifetime (yr)	Electricity (kWh)	Refrigerant-R22 (kg)
Usage	8	365	10	28,616	1.50

ตาราง 15 การใช้พลังงานไฟฟ้าและในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบธรรมดาเยื่อ B

	hr /day	Day/yr	Lifetime (yr)	Electricity (kWh)	Refrigerant R22(kg)
Usage	8	365	10	47,012	1.395

ตาราง 16 การใช้พลังงานไฟฟ้าและในช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์
ยี่ห้อ B

	hr /day	Day/yr	Lifetime (yr)	Electricity (kWh)	Refrigerant-R22(kg)
Usage	8	365	10	21,170	1.860

ตาราง 17 สัดส่วนการผลิตของโรงไฟฟ้าแต่ละประเภท (Electric grid mixed)

ประเภทของโรงไฟฟ้า	สัดส่วนการผลิต (%)
Combined Cycle power plant	37.41
Thermal power plant	30.27
Coal fired power plant	22.84
Hydro power plant	7.78
Gas turbine power plant	1.69
Diesel power plant	0.004
รวม	100 %

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน 2552

5. การจัดการหลังหมดอายุ (Disposal)

เนื่องจากประเทศไทยไม่มีข้อกำหนดในการจัดการกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งาน ทำให้การรวบรวมข้อมูลการกำจัดเมื่อหมดอายุทำได้ไม่สมบูรณ์ ข้อมูลการจัดการตู้เย็นหลังหมดอายุการใช้งานในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมมาจากการสอบถามโรงงานผู้ผลิต โรงงานแยกชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุดดังแสดงในตาราง 4.11

ตาราง 18 การแยกส่วนกำจัดของเครื่องปรับอากาศที่หมดอายุการใช้งานแล้ว

Materials	Recycle (%)	Landfill (%)	Incineration (%)
Steel	95	5	0
Cast Iron	88	12	0
Copper	94	6	0
Aluminum	90	10	0
Plastic	80	0	20
Refrigerant	80	20	0
Paper	100	0	0
Other	0	100	0

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษารวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาถึง ทรัพยากรและพลังงานที่ใช้รวมถึงการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำ และดิน โดยที่ช่วงการจัดการหลังหมดอายุการใช้งานมีค่าผลกระทบที่เป็นลบด้วยนั้น เนื่องจากมีการนำวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่ (recycle) เช่น เหล็ก พลาสติกและกระดาษ จึงเป็นการส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมที่ช่วยลดการสิ้นเปลืองวัตถุดิบและพลังงาน ดังนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีค่าเป็นลบ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงดังตาราง 18 ถึง 19



ตาราง 19 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A
ระบบธรรมดา

Substances	Unit	Production of materials	Product manufacturing	Transport	Use	Disposal	Total
Silicon steel	kg	13.40	-	-	-	-12.73	0.67
Steel sheet	kg	17.75	-	-	-	-16.86	0.89
Cast iron	kg	8.0	-	-	-	-7.04	0.96
Copper	kg	10.10	-	-	-	-9.49	0.61
HCFC-22	kg	1.40	-	-	-	-1.12	0.28
Plastic	kg	5.80	-	-	-	-4.4	1.10
Zinc	kg	1.0	-	-	-	0	1.00
Nylon	kg	0.27	-	-	-	0	0.27
Aluminum	kg	4.2	-	-	-	-3.78	0.42
Rubber	kg	0.72	-	-	-	0	0.72
Acrylic resin	kg	0.64	-	-	-	0	0.64
PVC	kg	2.30	-	-	-	0	2.30
Ps Foam	kg	1.85	-	-	-	0	1.85
Paper	kg	3.25	-	-	-	3.25	0
Electricity grid mixed	kwh	-	136. 63	-	45,406	-	45,542.63
Diesel oil	Km	-	-	100	-	0	100

ตาราง 20 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A ระบบ
อินเวอร์เตอร์

Substances	Unit	Production of materials	Product manufacturing	Transpo rt	Use	Disposal	Total
Silicon steel	kg	12.70	-	-	-	-12.65	0.05
Steel sheet	kg	16.55	-	-	-	-15.72	0.83
Cast iron	kg	8.25	-	-	-	-7.26	0.99
Copper	kg	10.10	-	-	-	-9.49	0.61
HCFC-22	kg	1.50	-	-	-	-1.2	0.30
Plastic	kg	5.50	-	-	-	-4.4	1.10
Zinc	kg	1.0	-	-	-	0	1.00
Nylon	kg	0.27	-	-	-	0	0.27
Aluminum	kg	4.2	-	-	-	-4.07	0.13
Rubber	kg	0.72	-	-	-	0	0.72
Acrylic resin	kg	0.64	-	-	-	0	0.64
PVC	kg	2.30	-	-	-	0	2.30
Ps Foam	kg	1.85	-	-	-	0	1.85
Paper	kg	3.25	-	-	-	3.25	0
Electricity grid mixed	kwh	-	136.63	-	28,616	-	28,752.63
Diesel oil	Km	-	-	100	-	0	100

ตาราง 21 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B
ระบบธรรมดา

Substances	Unit	Production of materials	Product manufacturing		Transpo rt	Use	Disposal	Total
Silicon steel	kg	15.28	-	-	-	-	-14.51	0.76
Steel sheet	kg	15.40	-	-	-	-	-14.63	0.77
Cast iron	kg	7.20	-	-	-	-	-6.33	0.86
Copper	kg	11.80	-	-	-	-	-11.09	0.70
HCFC-22	kg	1.395	-	-	-	-	-1.16	0.28
Plastic	kg	5.40	-	-	-	-	-4.32	1.08
Zinc	kg	0.90	-	-	-	-	0	0.90
Nylon	kg	0.25	-	-	-	-	0	0.25
Aluminum	kg	1.40	-	-	-	-	-1.26	0.13
Rubber	kg	0.80	-	-	-	-	0	0.80
Acrylic resin	kg	0.97	-	-	-	-	0	0.97
PVC	kg	0.38	-	-	-	-	0	0.38
Ps Foam	kg	1.55	-	-	-	-	0	1.55
Paper	kg	3.64	-	-	-	-	3.64	0
Electricity grid mixed	kwh	-	120.97	-	47,012	-	-	47,132.97
Diesel oil	Km	-	-	100	-	0	-	100

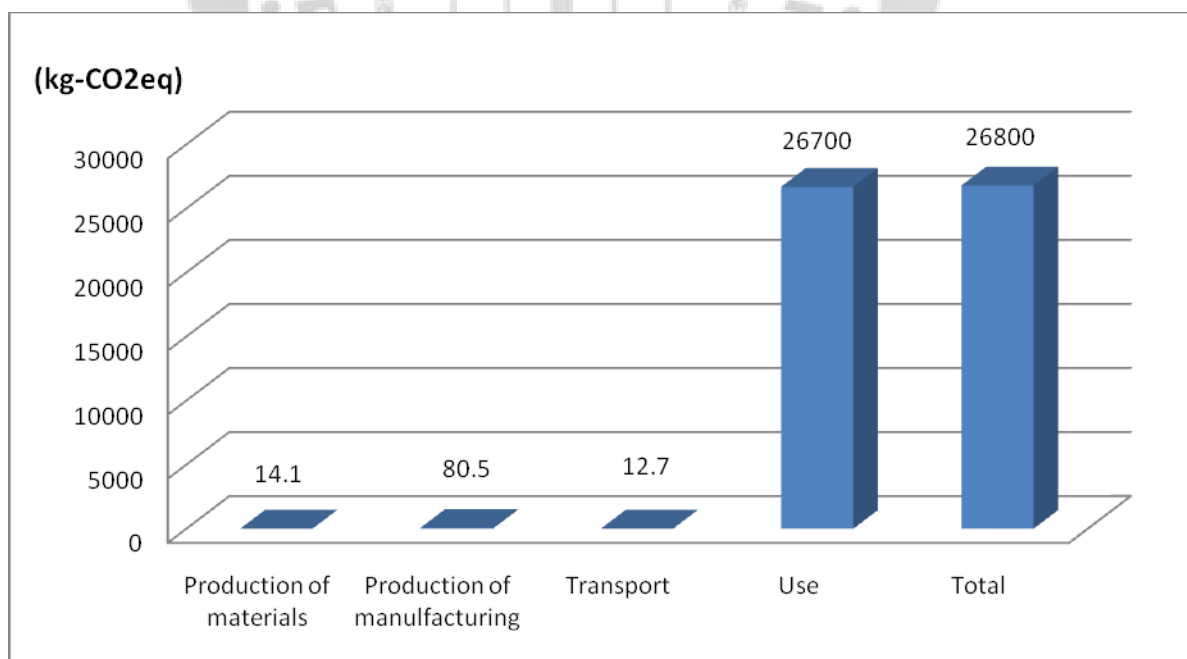
ตาราง 22 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B
ระบบอินเวอร์เตอร์

Substances	Unit	Production of materials	Product manufacturing	Transport	Use	Disposal	Total
Silicon steel	kg	14.26	-	-	-	-13.54	0.71
Steel sheet	kg	15.24	-	-	-	-14.47	0.76
Cast iron	kg	7.20	-	-	-	-6.33	0.86
Copper	kg	11.80	-	-	-	-11.09	0.70
HCFC-22	kg	1.86	-	-	-	-1.48	0.37
Plastic	kg	5.40	-	-	-	-4.32	1.08
Zinc	kg	0.90	-	-	-	0	0.90
Nylon	kg	0.25	-	-	-	0	0.25
Aluminum	kg	1.40	-	-	-	-1.26	0.13
Rubber	kg	0.80	-	-	-	0	0.80
Acrylic resin	kg	0.97	-	-	-	0	0.97
PVC	kg	0.38	-	-	-	0	0.38
Ps Foam	kg	1.55	-	-	-	0	1.55
Paper	kg	3.64	-	-	-	3.64	0
Electricity grid mixed	kwh	-	120.97	-	21,170	-	21,290.97
Diesel oil	Km	-	-	100	-	0	100

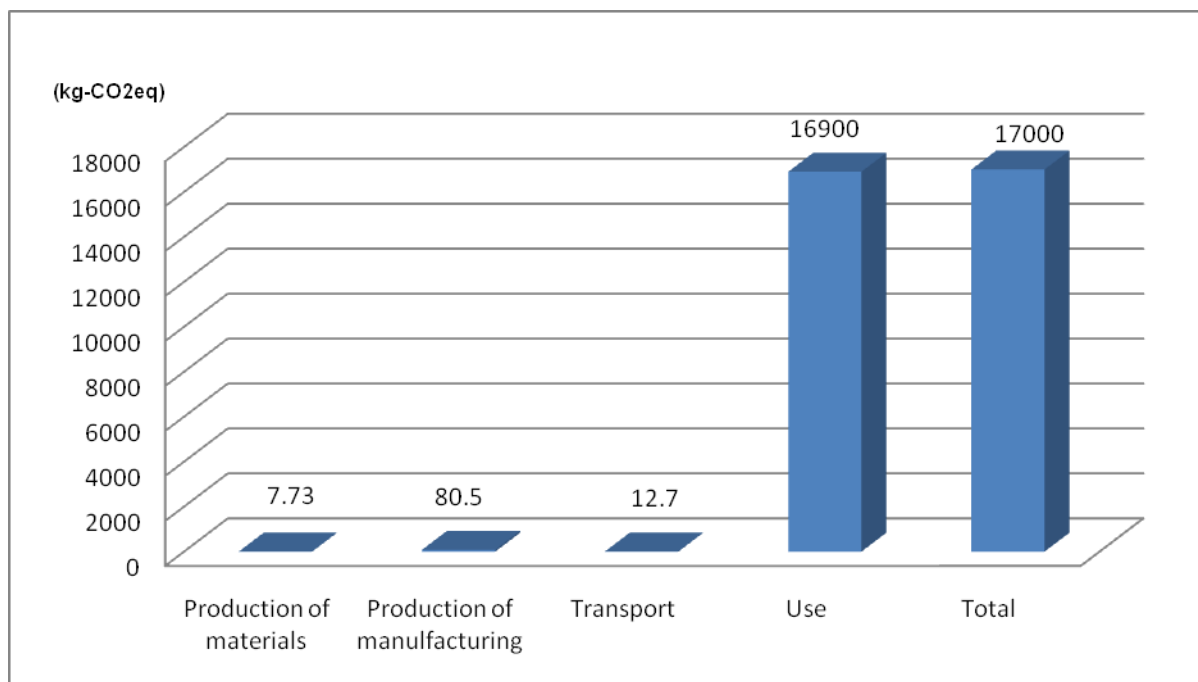
การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการต่างๆ ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาแล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่าระบบผลิตภัณฑ์มีการใช้ทรัพยากรและการปล่อยออกของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณเท่าใด การศึกษา LCA ขั้นตอนต่อไป คือ การตีความหรือแปลงค่าข้อมูลดังกล่าวมาอยู่ในรูปของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่าการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) เพื่อนำไปแปลผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อไป

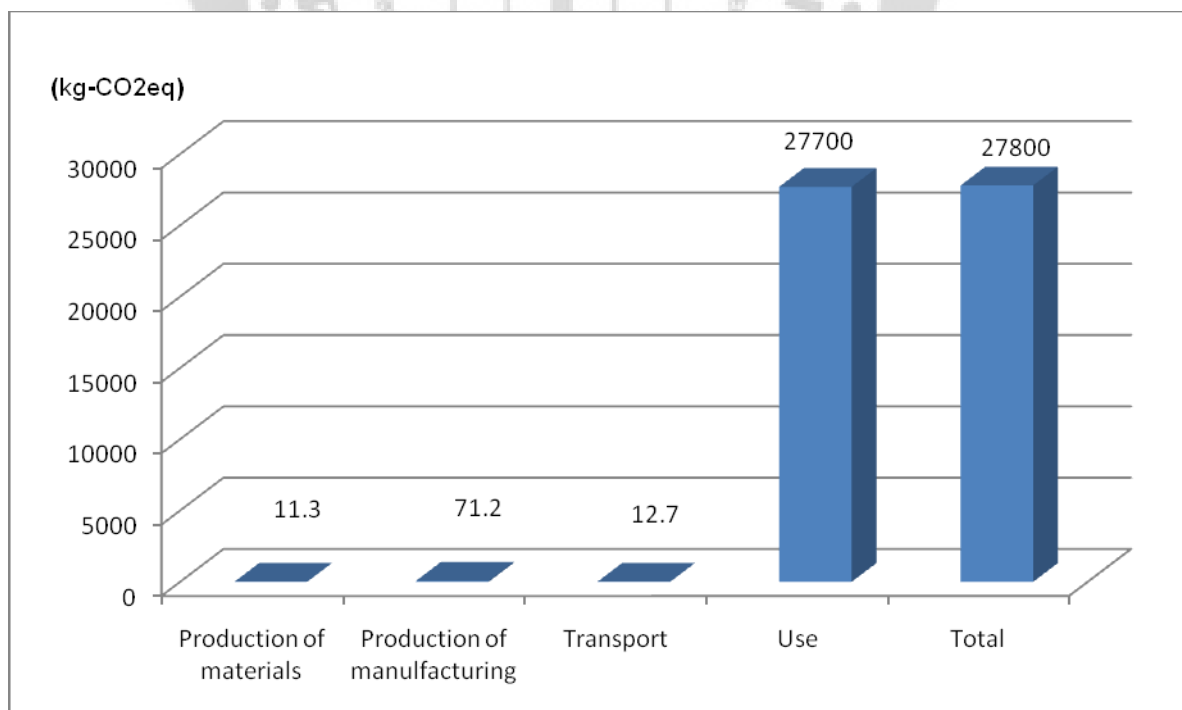
จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้วิธี Eco-indicator 99 พิจารณาที่คะแนนเชิงเดี่ยวพบว่าช่วงของการใช้งานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือช่วงของการผลิตเครื่องปรับอากาศ ช่วงการเตรียมวัตถุดิบ ช่วงการขนส่ง และช่วงการจัดการหลังหมดอายุ โดยที่ช่วงการจัดการหลังอายุมีค่าผลกระทบที่เป็นลบด้วยนั้นเนื่องมาจากมีการนำวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่ (recycle) เช่น เหล็ก พลาสติกและกระดาษ จึงเป็นการส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมที่ช่วยลดการสิ้นเปลืองวัตถุดิบและพลังงาน ดังนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีค่าเป็นลบ ซึ่งผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะแสดงในภาพประกอบ 4.1 ถึง 4.4



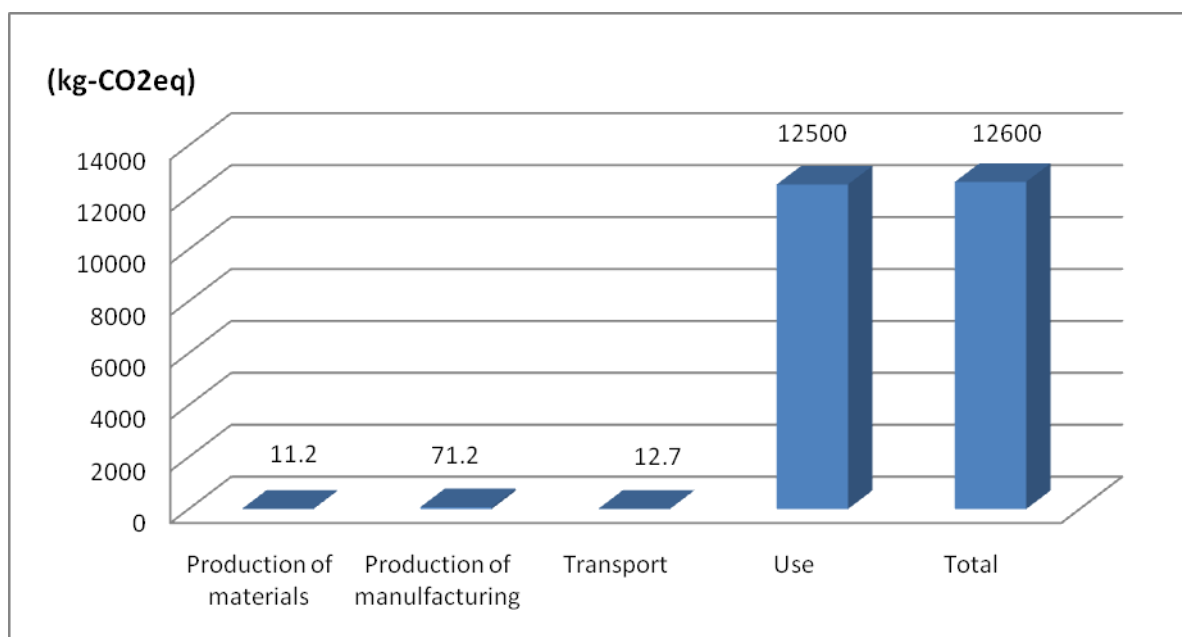
ภาพประกอบ 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ A ระบบธรรมดา



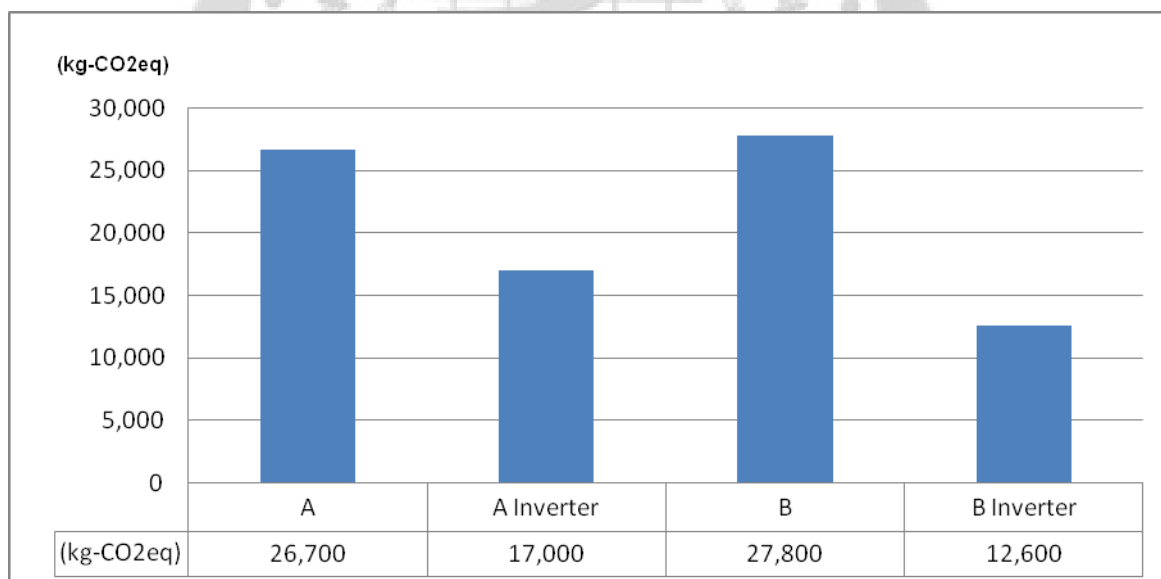
ภาพประกอบ 6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ
ยี่ห้อ A ระบบอินเวอร์เตอร์



ภาพประกอบ 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ
ยี่ห้อ B ระบบธรรมดา



ภาพประกอบ 8 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์



ภาพประกอบ 9 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของ เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A และยี่ห้อ B ระบบธรรมดาและระบบอินเวอร์เตอร์

จากภาพประกอบ 4.1 ถึง 4.4 แสดงให้เห็นว่าช่วงใช้งานของเครื่องปรับอากาศมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ช่วงผลิตเครื่อง และช่วงการขนส่งตามลำดับโดยเมื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A และ B ทั้งในระบบธรรมดาและ

ระบบอินเวอร์เตอร์จากผลการศึกษาพบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศระบบธรรมดา ยี่ห้อ B ระบบธรรมดาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น 27,800 kgCO₂ ซึ่งเป็นผลมาจากขั้นตอนการใช้งานมีการใช้ไฟฟ้าที่ปริมาณสูงตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี รองลงมาคือเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A ระบบธรรมดา 26,800 kgCO₂ ,เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A ระบบอินเวอร์เตอร์ 17,000 kgCO₂ และเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์ 12,600 kgCO₂ ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดก็คือ มีประสิทธิภาพในการทำความเย็นที่ดีกว่าทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศอีกสามรุ่น

ลำดับต่อไปเป็นการพิจารณาผลขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) ซึ่งเป็นกระบวนการในการจัดกลุ่มของผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และแปลค่าผลกระทบของสารต่างๆ ให้อยู่ในรูปของสารมลพิษหลักของกลุ่มผลกระทบนั้นๆ ซึ่งวิธีการประเมินผลกระทบที่นำมาใช้คือวิธี “Eco-Indicator 99” โดยเลือกพิจารณากลุ่มผลกระทบที่กำลังได้รับความสนใจ 5 กลุ่มผลกระทบดังแสดงในตารางที่ 23 ถึง 26 ซึ่งแสดงผลกระทบในแต่ละกลุ่ม

ตาราง 23 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ A ระบบธรรมดา

Impact Category	Unit	Potential impacts
Global impacts		
Global warming	kg CO ₂ – eq	19,300
Ozone depletion	kg CFC11 – eq	0.287
Acidification (AP)	kg SO ₂ – eq	10.5
Eutrophication (EP)	kg NO ₃ – eq	0.109
Land Use (m3)	m3	0.00129

ตาราง 24 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ
ยี่ห้อ A ระบบอินเวอร์เตอร์

Impact Category	Unit	Potential impacts
Global impacts		
Global warming	kg CO ₂ – eq	12,200
Ozone depletion	kg CFC11 – eq	0.187
Acidification (AP)	kg SO ₂ – eq	6.62
Eutrophication (EP)	kg NO ₃ – eq	0.0685
Land Use (m3)	m3	0.00115

ตาราง 25 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ
ยี่ห้อ B ระบบธรรมดา

Impact Category	Unit	Potential impacts
Global impacts		
Global warming	kg CO ₂ – eq	20,000
Ozone depletion	kg CFC11 – eq	0.295
Acidification (AP)	kg SO ₂ – eq	10.8
Eutrophication (EP)	kg NO ₃ – eq	0.112
Land Use (m3)	m3	0.00116

ตาราง 26 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ
ยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์

Impact Category	Unit	Potential impacts
Global impacts		
Global warming	kg CO ₂ – eq	9,040
Ozone depletion	kg CFC11 – eq	0.142
Acidification (AP)	kg SO ₂ – eq	4.94
Eutrophication (EP)	kg NO ₃ – eq	0.0511
Land Use (m3)	m3	0.00115

ผลที่ได้จากตาราง 23 ถึง 26 ทำให้เราทราบว่า ในแต่ละดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจ ช่วงขั้นตอนใดที่เป็นตัวก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทจะถูกแสดงในรูปแบบของร้อยละ ซึ่งจะมีทั้งค่าที่เป็นบวก คือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และค่าที่เป็นลบ คือมีการรีไซเคิล ซึ่งถือเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ค่าทั้งสองจะรวมกันเป็น 100 เปอร์เซนต์แต่ในที่นี้จะแสดงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือค่าร้อยละที่เป็นบวกเป็นส่วนใหญ่

สาเหตุปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าในช่วงของการใช้งานและการผลิต การปล่อยทิ้งสารทำความเย็น ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี การผลิตพลาสติก PS การผลิต การผลิตพลาสติก

สาเหตุปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการลดลงของโอโซน (Ozone depletion) ได้แก่ การผลิตพลาสติก การขนส่งโดยรถบรรทุก ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Thai GHGs+ เช่น ข้อมูลการผลิตรถบรรทุก การเผาไหม้เชื้อเพลิง การปลดปล่อยมลพิษ เป็นต้น การใช้ไฟฟ้าในช่วงของการใช้งานและการผลิต การผลิตทองแดง การผลิตเหล็กหล่อ การผลิตกระดาษ และการผลิตสารทำความเย็น

สาเหตุปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification) ส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าในช่วงของการใช้งานและการผลิต และจากการผลิตวัตถุดิบต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง ได้แก่ การผลิตนิกเกิล ซึ่งเป็นส่วนผสมของเหล็กในชิ้นส่วนคอมเพรสเซอร์ การผลิตพลาสติก PP การผลิตทองแดง การผลิตพลาสติก PS และการผลิต PUR foam

สาเหตุปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะพืชน้ำเติบโตผิดปกติ (Eutrophication) ส่วนใหญ่จากการใช้ไฟฟ้าในช่วงของการใช้งานและการผลิตเกือบทั้งหมดนอกนั้นจากการผลิตพลาสติก PP การผลิต PS foam การผลิตพลาสติกและการผลิตกระดาษแข็ง

สาเหตุปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดขยะในสิ่งแวดล้อม (Land use) ส่วนใหญ่เกิดจากการไม่สามารถนำชิ้นส่วนต่างๆ กลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมดเช่น ทองแดง อลูมิเนียม และ สารทำความเย็น

ตาราง 27 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกลุ่มผลกระทบตลอดช่วงตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A และยี่ห้อ B

Impact category	Unit	Potential impacts			
		A	A(Inverter)	B	B(Inverter)
Global impacts					
Global warming	kg CO ₂ —eq	19,300	12,200	20,000	9,040
Ozone depletion	kg CFC11 —eq	0.287	0.187	0.295	0.142
Acidification	kg SO ₂ —eq	10.5	6.62	10.8	4.94
Eutrophication	kg NO ₃ —eq	0.109	0.0685	0.112	0.0511
Land Use	m ³	0.0129	0.0115	0.0116	0.0115

จากตาราง 27 เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Global warming) ของเครื่องปรับอากาศทั้งสองรุ่นพบว่าเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบธรรมดาส่งผลกระทบในเรื่องภาวะโลกร้อนมากที่สุดถึง 20,000 kg CO₂ – eq เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์ส่งผลกระทบในเรื่องภาวะโลกร้อนน้อยที่สุด 9,040 kg CO₂-eq ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมในด้านการลดลงของโอโซนของเครื่องปรับอากาศ ทั้งสี่รุ่นพบว่าเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์ส่งผลต่อการลดลงของชั้นโอโซนมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทของเครื่องปรับอากาศทั้งสอง ยี่ห้อ ดังตาราง 4.20 พบว่า เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์ส่งผลกระทบในเรื่องภาวะ โลกร้อน การลดลงของโอโซน ฝนกรด และการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำน้อยที่สุดเมื่อนำ ผลการประเมินในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ที่ศึกษามาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า ในแต่ละขั้นตอนของเครื่องปรับอากาศทั้งสองยี่ห้อมีความใกล้เคียงกันแตกต่างกันเพียง ช่วงการใช้งานของเครื่องปรับอากาศทั้งสองยี่ห้อเป็นช่วงที่มีผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมมากที่สุด แต่การใช้งานของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบอินเวอร์เตอร์มีผลกระทบน้อยกว่าค่อนข้างมาก ทั้งนี้ เนื่องมาจากการใช้กระแสไฟฟ้าที่น้อยกว่านั่นเอง



บทที่ 5

สรุปผลวิจัย

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศระบบธรรมดาและระบบอินเวอร์เตอร์แบบ Split type ขนาด 18,000 บีทียูต่อชั่วโมงด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Thai GHGs+ โดยใช้วิธี EDIP และ Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-Indicator ทำให้ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบ้าน และด้วยวิธี EDIP ได้ค่าของผลกระทบในเรื่องต่างๆ ที่เลือกศึกษา
2. ขั้นตอนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขั้นตอนการใช้งาน รองลงมา คือ ขั้นตอนการผลิตคอมเพรสเซอร์
3. ปัจจัยหลักที่ทำให้ขั้นตอนการใช้งานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณสูงตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี
4. ปัจจัยหลักที่ทำให้ขั้นตอนการผลิตคอมเพรสเซอร์ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง ได้แก่ ทองแดง รองลงมา คือ การใช้พลังงานไฟฟ้า และเหล็กหล่อ
5. ปัจจัยหลักที่ทำให้ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้า รองลงมา คือ พลาสติก PS PUR foam สังกะสี เหล็กอัลลอยด์ และพลาสติก ABS
6. วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบในประเภทต่างๆ ได้แก่ ทองแดง รองลงมาเป็นกลุ่มของพลาสติก PS PUR foam เหล็กซิลิคอน พลาสติก PP อะลูมิเนียม กระดาษ และเหล็กหล่อ
7. แนวทางในการปรับปรุง ควรปรับปรุงในเรื่องของการใช้พลังงานไฟฟ้าเพราะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบสูงที่สุด) โดยมุ่งเน้นที่การปรับปรุงประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดและการเลือกใช้วัสดุวัตถุดิบที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศทั้งหมด

การเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้สามารถชี้แหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ในงานวิจัยนี้จะเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงเพียงเบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งควรจะต้องมีการทำวิจัยต่อไป เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบ้าน

1. การปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงของการใช้งาน

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศรุ่นที่ศึกษานี้ ผลชี้ว่า เรื่องของการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด วิธีการในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง มีหลายวิธี เช่น

1.1 ปรับปรุงประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของเครื่องปรับอากาศ การทำให้คอมเพรสเซอร์กินไฟน้อยลง

1.2 ปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น (cooling system) ในอนาคตอาจมีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการทำความเย็น เช่น การประดิษฐ์ evaporator รุ่นใหม่ที่สามารถกระจายความเย็นได้ดีกว่าเดิมหลายเท่า ก็จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงไปได้

1.3 รณรงค์ให้ผู้ซื้อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง เช่น การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดไฟสูงสุด

2. การปรับปรุงวัสดุและสารเคมีที่ใช้ผลิตเครื่องปรับอากาศ

วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบในประเภทต่างๆ ได้แก่ ท่อแดง รองลงมาเป็นกลุ่มของพลาสติก PS PUR foam เหล็กซิลิคอน พลาสติก PP อะลูมิเนียม กระดาษ และเหล็กหล่อ วิธีการในการปรับปรุง เช่น

2.1 ใช้ทองแดงในการผลิตคอมเพรสเซอร์ให้น้อยที่สุด ถ้าเป็นไปได้ให้ยกเลิกการใช้ทองแดงในชิ้นส่วนทุกชิ้นของคอมเพรสเซอร์

2.2 ใช้พลาสติกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แทนที่พลาสติกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เช่น อาจใช้พลาสติก PE แทนที่พลาสติก PP

2.3 ใช้อะลูมิเนียมและเหล็กรีไซเคิล แทนที่อะลูมิเนียมและเหล็กใหม่ให้ได้มากที่สุด

2.4 ลดการใช้ปริมาณกระดาษในการบรรจุเครื่องปรับอากาศให้ได้มากที่สุด

2.5 ใช้วัสดุชนิดอื่นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเหล็กหล่อ (cast iron) แทนที่ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กหล่อในคอมเพรสเซอร์ เช่น การใช้เหล็กผงอัด

2.6 ใช้สารทำความเย็นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสาร R22 เช่น ใช้สาร isobutene เป็นสารทำความเย็นซึ่งสาร pentane/isobutene จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายๆ เรื่องน้อยกว่าสาร R22 โดยเฉพาะในเรื่องของ Global warming ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าค่อนข้างมาก

3. การปรับปรุงการจัดการหลังหมดอายุ

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศรุ่นที่ศึกษานี้ ในช่วงของการกำจัดนั้นผลกระทบโดยรวมมีค่าเป็นลบ ซึ่งเกิดจากการรีไซเคิลวัสดุกลับมาใช้ใหม่ หากเราสามารถเพิ่มการรีไซเคิลของวัสดุได้มากขึ้นก็จะเป็นการช่วยลดผลกระทบโดยรวมของเครื่องปรับอากาศลงไปได้อย่างมาก วิธีการในการปรับปรุง เช่น

3.1 เพิ่มเปอร์เซ็นต์การรีไซเคิลของวัสดุแต่ละชนิดให้ได้มากที่สุด

3.2 ศึกษาหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุด ในการจัดการกับเศษวัสดุที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

4. การปรับปรุงด้วยวิธีการอื่นๆ

นอกจากวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่น่าจะเป็นแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศได้ เช่น

4.1 การนำหลักการเทคโนโลยีสะอาดเข้าไปใช้ในโรงงานเพื่อช่วยในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากโรงงาน เช่น ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ลดมลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น เป็นต้น ทั้งนี้ยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานอีกด้วย

4.2 การนำแนวคิดการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Eco- design) เข้ามาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เช่น การออกแบบให้เครื่องปรับอากาศใช้วัสดุน้อยลง การใช้วัสดุอื่นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าทดแทน การออกแบบให้เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น เป็นต้น



บรรณานุกรม

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.(ตุลาคม,2553). *เรื่องอะไร. สืบค้นเมื่อวันที่ เดือน พ.ศ.อะไร*

จาก www.egat.or.th

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. (ตุลาคม,2553). *เรื่องอะไร. สืบค้นเมื่อวันที่ เดือน พ.ศ.อะไร*

จาก <http://www.thaieei.com>

Cho, J.R. (2002). *Development of Integrate DFE System for Evaluating the Environmental Impact*. Pusan National University, Korea.

Chomkumsri, K. (2003). Life Cycle Assessment of electric grid mix of Thailand using Simapro5.0. M.Eng. Thesis, Kasetsart University.

International Organization for Standardization. (1997). *ISO/DIS 14040: Environmental management –Life Cycle Assessment – Principles and framework*.

International Organization for Standardization. (1997). *ISO/DIS 14041: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis*.

International Organization for Standardization. (1998). *ISO/DIS 14041: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life cycle interpretation*.

Lee, H. (1997). *Environmental Activities in Product Development at Samsung*. Samsung Electronics Co. Ltd., Suwon, Korea.

Neri, P., P. Buttol, M. Cremonini, A. Ronchi and G. Tani. (2002). *Life Cycle Assessment of anAxial air compressor manufactured by the firm FINI COMPRESSOR*. Available Source: <http://www.coc.neu.edu/~smgupta/4193-18-SPIEPDE>.

----- .G. Bemardi, P. Buttol. G. Naldi, M. Saric and G. Tani. (2002). *A comparison between the environmental damages of two axial air compressor manufactured by the firm FINI COMPRESS*. Available Source:

<http://www.coe.neunedu/~smgupta/4193-62-SPIE.PDF>.

Pre' Consultants. (2001). *SimaPro 5.1-Manual book*.

SETAC-Europe Working Group. (2003). *Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes*.

Thailand LCA Network. (March 2001). Available Source: [http:// doi.ent.cmu.ac.th/Thailca](http://doi.ent.cmu.ac.th/Thailca).

Tukker, A. (2000). Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. *Journal of Environmental Impact Assessment Review*. 20, 435-456.

Varabimtppmvot V. (2002). *Life Cycle Assessment of Power Generation Systems in Thailand Using NETS Method*. M.Eng. Thesis, Kaseasart University.

Wenzel, H., M Hauschild. And L. Alting. (1997). *Environmental Assessment of Products*. CHAPMAN & HALL, London.









ภาคผนวก ข
ค่า characterization factor ทางสิ่งแวดล้อม
ด้วยวิธี EDIP
ที่มา:โปรแกรม Thai GHGs+

ตารางภาคผนวกที่ ข1 ค่า characterization factor ทางสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A ระบบ

ธรรมดา

			Production of materials	Production of manufacturing	Transport	Use	Total
Resources	Al reserves	kg	3.45E-01	2.31E-03	0	7.67E-01	1.11E+00
Resources	Cr reserves	kg	1.90E-01	0	0	0	1.90E-01
Resources	Cu reserves	kg	7.14E-02	4.78E-047	0	1.59E-01	2.31E-01
Resources	Fe reserves	kg	6.61E-01	0	0	0	6.61E-01
Resources	Mn reserves	kg	2.71E-02	0	0	0	2.71E-02
Resources	Ni reserves	kg	1.41E-01	0	0	0	1.41E-01
Resources	Pb reserves	kg	1.49E-02	1.76E-05	0	5.86E-03	2.08E-02
Resources	U reserves	kg	5.96E-06	2.64E-09	0	8.76E-07	6.84E-06
Resources	Zn reserves	kg	2.85E-02	9.76E-05	0	3.24E-02	6.10E-02
Resources	coal (coke)	kg	6.54E-01	6.72E-04	0	2.23E-01	8.79E-01
Resources	coal (combustion)	kg	1.64E+00	2.31E+01	0	7.67E+03	7.70E+03
Resources	crude oil	kg	0	2.21E+00	0	7.36E+02	7.38E+02
Resources	natural gas	kg	1.69E-01	4.41E+01	0	1.47E+04	1.47E+04
Resources	oil reserves	kg	1.88E+00	8.43E-02	3.92E+00	2.80E+01	3.39E+01
Air	CO2	kg	1.39E+01	8.01E+1	1.26E+1	2.66E+4	2.67E+4
Air	As	kg	0	4.48E-17	0	1.49E-14	1.49E-14
Air	CH4	kg	2.83E-04	6.49E-03	2.88E-07	2.16E+00	2.16E+00
Air	Cd	kg	0	3.70E-18	0	1.23E-15	1.23E-15
Air	Cr	kg	0	8.16E-17	0	2.71E-14	2.72E-14
Air	Hg	kg	0	5.41E-17	0	1.80E-14	1.80E-14
Air	N2O	kg	7.57E-04	8.03E-04	2.02E-04	2.67E-01	2.69E-01
Air	NMHC	kg	0	9.86E-14	0	3.28E-11	3.29E-11
Air	NMVOC	kg	4.72E-04	1.78E-02	9.64E-07	5.90E+00	5.92E+00
Air	NOx	kg	2.13E-02	2.42E-01	3.25E-04	8.04E+01	8.06E+01
Air	Nox (mobile source)	kg	8.77E-03	1.21E-05	5.14E-02	4.02E-03	6.42E-02
Air	Ni	kg	0	9.17E-17	0	3.05E-14	3.06E-14
Air	Pb	kg	0	2.15E-16	0	7.13E-14	7.15E-14
Air	SO2	kg	2.76E-02	2.34E-02	1.48E-04	7.76E+00	7.82E+00

Air	SOx	kg	8.54E-04	1.19E-03	2.57E-03	3.96E-01	4.01E-01
Air	hydrocarbons	kg	1.16E-03	1.50E-04	2.33E-03	4.99E-02	5.36E-02
Water	As	kg	0	2.30E-08	0	7.63E-06	7.65E-06
Water	BOD	kg	0	6.45E-05	0	2.14E-02	2.15E-02
Water	COD	kg	0	6.22E-05	0	2.07E-02	2.07E-02
Water	Cd	kg	0	3.44E-09	0	1.14E-06	1.15E-06
Water	Cr	kg	0	6.89E-08	0	2.29E-05	2.30E-05
Water	Hg	kg	0	2.43E-09	0	8.08E-07	8.11E-07
Water	total nitrogen	kg	0	4.00E-06	0	1.33E-03	1.33E-03
Industrial Wastes	Earth & sand (landfill)	kg	7.39E-01	0	0	0	7.39E-01
Industrial Wastes	Industrial waste landfill (unspecified)	kg	9.77E-02	3.32E-02	0	1.10E+01	1.12E+01
Industrial Wastes	low-level radioactive waste	kg	4.17E-06	1.84E-09	0	6.13E-07	4.78E-06
Industrial Wastes	plastic wastes (landfill)	kg	0	3.61E-03	0	1.20E-04	1.20E-04
Industrial Wastes	rubbls (landfill)	kg	0	7.15E-07	0	2.37E-04	2.38E-04
Industrial Wastes	slag (landfill)	kg	5.88E-01	9.24E-04	0	3.07E-01	8.96E-01
Industrial Wastes	sludge (landfill)	kg	0	2.04E-04	0	6.77E-02	6.79E-02

ตารางภาคผนวกที่ ข1 ค่า characterization factor ทางสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ A ระบบ
อินเวอร์เตอร์

			Production of materials	Production of manufacturing	Transpor	Use	Total
Resources	Al reserves	kg	1.07E-01	2.31E-03	0	4.86E-01	5.95E-01
Resources	Cr reserves	kg	1.77E-01	0	0	0	1.77E-01
Resources	Cu reserves	kg	0	4.78E-04	0	1.01E-01	1.01E-01
Resources	Fe reserves	kg	2.22E-01	0	0	0	2.22E-01
Resources	Mn reserves	kg	2.26E-02	0	0	0	2.26E-02
Resources	Ni reserves	kg	1.31E-01	0	0	0	1.31E-01
Resources	Pb reserves	kg	0	1.76E-05	0	3.71E-03	3.73E-03
Resources	U reserves	kg	2.38E-06	2.64E-09	0	5.55E-07	2.93E-06
Resources	Zn reserves	kg	0	9.76E-05	0	2.05E-02	2.06E-02
Resources	coal (coke)	kg	2.76E-01	6.72E-04	0	1.41E-01	4.18E-01
Resources	coal (combustion)	kg	7.62E-01	2.31E+01	0	4.86E+03	4.88E+03
Resources	crude oil	kg	0	2.21E+00	0	4.66E+02	4.68E+02
Resources	natural gas	kg	5.36E-02	4.41E+01	0	9.29E+03	9.33E+33
Resources	oil reserves	kg	4.40E+00	8.43E-02	3.92E+00	1.77E+01	2.31E+01
Air	CO2	kg	7.62E+00	8.01E+01	1.26E+01	1.68E+04	1.69E+04
Air	As	kg	0	4.48E-17	0	9.43E-15	9.48E-15
Air	CH4	kg	2.00E-04	6.49E-03	2.88E-07	1.73E+00	1.37E+00
Air	Cd	kg	0	3.70E-18	0	7.79E-16	7.83E-16
Air	Cr	kg	0	8.16E-17	0	1.72E-14	1.72E-14
Air	Hg	kg	0	5.41E-17	0	1.74E-14	1.74E-14
Air	N2O	kg	3.56E-04	8.03E-04	2.02E-04	1.69E-01	1.70E-01
Air	NMHC	kg	0	9.86E-14	0	2.08E-11	2.09E-11
Air	NMVOC	kg	2.81E-04	1.78E-02	9.64E-07	3.74E+00	3.76E+00
Air	NOx	kg	1.60E-02	2.42E-01	3.25E-04	5.09E-01	5.11E+01
Air	Nox (mobile source)	kg	7.10E-03	1.21E-05	5.14E-02	2.55E-03	6.11E-02
Air	Ni	kg	0	9.17E-17	0	1.93E-14	1.94E-14
Air	Pb	kg	0	2.15E-16	0	4.51E-14	4.54E-14
Air	SO2	kg	1.28E-02	2.34E-02	1.48E-04	4.92E+00	4.95E+00

Air	SOx	kg	6.15E-04	1.19E-03	2.57E-03	2.51E-01	2.55E-01
Air	hydrocarbons	kg	9.01E-04	1.50E-04	2.33E-03	3.16E-02	3.50E-02
Water	As	kg	0	2.30E-08	0	4.83E-06	4.58E-06
Water	BOD	kg	0	6.45E-085	0	1.36E-02	1.36E-02
Water	COD	kg	0	6.22E-05	0	1.31E-02	1.31E-02
Water	Cd	kg	0	3.44E-09	0	7.25E-07	7.28E-07
Water	Cr	kg	0	6.89E-08	0	1.45E-05	1.46E-05
Water	Hg	kg	0	2.43E-09	0	5.12E-07	5.14E-07
Water	total nitrogen	kg	0	4.00E-06	0	8.42E-04	8.46E-04
Industrial Wastes	Earth & sand (landfill)	kg	2.29E-01	0	0	0	2.29E-01
Industrial Wastes	Industrial waste landfill (unspecified)	kg	3.37E-02	3.32E-02	0	6.99E+00	7.05E+00
Industrial Wastes	low-level radioactive waste	kg	1.66E-06	1.84E-09	0	3.88E-07	2.05E-06
Industrial Wastes	plastic wastes (landfill)	kg	0	3.61E-07	0	7.59E-05	7.63E-05
Industrial Wastes	rubbls (landfill)	kg	0	7.15E-07	0	1.50E-04	1.51E-04
Industrial Wastes	slag (landfill)	kg	1.55E-01	9.24E-04	0	1.94E-01	3.50E-01
Industrial Wastes	sludge (landfill)	kg	0	2.04E-04	0	4.28E-02	4.30E-02

ตารางภาคผนวกที่ ข1 ค่า characterization factor ทางสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบ

ธรรมดา

			Production of materials	Production of manufacturing	Transpor	Use	Total
Resources	Al reserves	kg	1.15E-01	2.04E-03	0	7.95E-01	9.11E-01
Resources	Cr reserves	kg	1.64E-01	0	0	0	1.64E-01
Resources	Cu reserves	kg	8.28E-02	4.23E-04	0	1.65E-01	2.48E-01
Resources	Fe reserves	kg	6.96E-01	0	0	0	6.96E-01
Resources	Mn reserves	kg	2.43E-02	0	0	0	2.43E-02
Resources	Ni reserves	kg	1.22E-01	0	0	0	1.22E-01
Resources	Pb reserves	kg	1.73E-02	1.56E-05	0	6.06E-03	2.34E-02
Resources	U reserves	kg	3.18E-06	2.33E-09	0	9.07E-07	4.09E-06
Resources	Zn reserves	kg	3.31E-02	8.64E-05	0	3.36E-02	6.67E-02
Resources	coal (coke)	kg	6.71E-01	5.95E-04	0	2.31E-01	9.03E-01
Resources	coal (combustion)	kg	9.16E-01	2.04E+01	0	7.95E+03	7.97E+03
Resources	crude oil	kg	0	1.96E+00	0	7.62E+02	7.64E+02
Resources	natural gas	kg	8.39E-02	3.91E+01	0	1.52E+04	1.52E+04
Resources	oil reserves	kg	2.00E+00	7.46E-02	3.92E+00	2.90E+01	3.50E+01
Air	CO2	kg	1.11E+01	7.09E+01	1.26E+01	2.75E+04	2.76E+04
Air	As	kg	0	3.97E-17	0	1.54E-14	1.55E-14
Air	CH4	kg	3.14E-04	5.75E-03	2.88E-07	2.23E+00	2.24E+00
Air	Cd	kg	0	3.28E-18	0	1.27E-15	1.28E-15
Air	Cr	kg	0	7.22E-17	0	2.81E-14	2.81E-14
Air	Hg	kg	0	4.79E-17	0	1.86E-14	1.87E-14
Air	N2O	kg	4.84E-04	7.11E-04	2.02E-04	2.76E-01	2.78E-01
Air	NMHC	kg	0	8.73E-14	0	3.39E-11	3.40E-11
Air	NMVOC	kg	4.77E-04	1.57E-02	9.64E-07	6.11E+00	6.13E+00
Air	NOx	kg	1.51E-02	2.14E-01	3.25E-04	8.32E+01	8.34E+01
Air	Nox (mobile source)	kg	7.72E-03	1.07E-05	5.14E-02	4.17E-03	6.33E-02
Air	Ni	kg	0	8.12E-17	0	3.15E-14	3.16E-14
Air	Pb	kg	0	1.90E-16	0	7.38E-14	7.40E-14
Air	SO2	kg	1.67E-02	2.07E-02	1.48E-04	8.04E+00	8.08E+00

Air	SOx	kg	7.97E-04	1.06E-03	2.57E-03	4.10E-01	4.15E-01
Air	hydrocarbons	kg	9.89E-04	1.33E-04	2.33E-03	5.17E-02	5.52E-02
Water	As	kg	0	2.03E-08	0	7.90E-06	7.92E-06
Water	BOD	kg	0	5.71E-05	0	2.22E-02	2.22E-02
Water	COD	kg	0	5.50E-05	0	2.14E-02	2.14E-02
Water	Cd	kg	0	3.05E-09	0	1.18E-06	1.19E-06
Water	Cr	kg	0	6.10E-08	0	2.37E-05	2.38E-05
Water	Hg	kg	0	2.15E-09	0	8.37E-07	8.39E-07
Water	total nitrogen	kg	0	3.54E-06	0	1.38E-03	1.38E-03
Industrial Wastes	Earth & sand (landfill)	kg	2.46E-01	0	0	0	2.46E-01
Industrial Wastes	Industrial waste landfill (unspecified)	kg	3.84E-02	2.94E-02	0	1.14E+01	1.15E+01
Industrial Wastes	low-level radioactive waste	kg	2.22E-06	1.63E-09	0	6.35E-07	2.86E-06
Industrial Wastes	plastic wastes (landfill)	kg	0	3.19E-07	0	1.24E-04	1.24E-04
Industrial Wastes	rubbls (landfill)	kg	0	6.33E-07	0	2.46E-04	2.47E-04
Industrial Wastes	slag (landfill)	kg	6.33E-01	8.13E-04	0	3.18E-01	9.52E-01
Industrial Wastes	sludge (landfill)	kg	0	1.80E-04	0	7.00E-02	7.02E-02

ตารางภาคผนวกที่ ข1 ค่า characterization factor ทางสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ B ระบบ
อินเวอร์เตอร์

			Production of materials	Production of manufacturing	Transpor	Use	Total
Resources	Al reserves	kg	1.15E01	2.04E-03	0	3.58E-01	4.75E-01
Resources	Cr reserves	kg	1.62E-01	0	0	0	1.62E-01
Resources	Cu reserves	kg	9.13E-02	4.23E-04	0	7.41E-02	1.66E-01
Resources	Fe reserves	kg	6.62E-01	0	0	0	6.62E-01
Resources	Mn reserves	kg	2.39E-02	0	0	0	2.39E-02
Resources	Ni reserves	kg	1.20E-01	0	0	0	1.20E-01
Resources	Pb reserves	kg	1.91E-02	1.56E-05	0	2.73E-03	2.19E-02
Resources	U reserves	kg	3.22E-06	2.33E-09	0	4.09E-07	3.63E-06
Resources	Zn reserves	kg	3.64E-02	8.64E-05	0	1.51E-02	5.16E-02
Resources	coal (coke)	kg	6.50E-01	5.95E-04	0	1.04E-01	7.55E-01
Resources	coal (combustion)	kg	9.11E-01	2.04E+01	0	3.58E+03	3.60E+03
Resources	crude oil	kg	0	1.96E+00	0	3.43E+02	3.45E+02
Resources	natural gas	kg	8.57E-02	3.91E+01	0	6.84E+03	6.88E+03
Resources	oil reserves	kg	2.01E+00	7.46E-02	3.92E+00	1.31E+01	1.91E+01
Air	CO2	kg	1.11E+01	7.09E+01	1.26E+01	1.24E+04	1.25E+04
Air	As	kg	0	3.97E-17	0	6.94E-15	6.98E-15
Air	CH4	kg	3.15E-04	5.75E-03	2.88E-07	1.01E+00	1.00E+00
Air	Cd	kg	0	3.28E-18	0	5.74E-16	5.77E-16
Air	Cr	kg	0	7.22E-17	0	1.26E-14	1.27E-14
Air	Hg	kg	0	4.79E-17	0	8.38E-15	8.43E-15
Air	N2O	kg	4.48E-04	7.11E-04	2.02E-04	1.24E-01	1.26E-01
Air	NMHC	kg	0	8.73E-14	0	1.53E-11	1.54E-11
Air	NMVOC	kg	4.82E-04	1.57E-02	9.64E-07	2.75E+00	2.77E+00
Air	NOx	kg	1.51E-02	2.14E-01	3.25E-04	3.75E+01	3.77E+01
Air	Nox (mobile source)	kg	7.66E-03	1.07E-05	5.14E-02	1.88E-03	6.09E-02
Air	Ni	kg	0	8.12E-17	0	1.42E-17	1.43E-14
Air	Pb	kg	0	1.90E-16	0	3.32E-14	3.34E-14
Air	SO2	kg	1.67E-02	2.07E-02	1.48E-04	3.62E+00	3.66E+00

Air	SOx	kg	7.90E-04	1.06E-03	2.57E-03	1.85E-01	1.89E-01
Air	hydrocarbons	kg	9.83E-04	1.33E-04	2.33E-03	2.33E-02	2.67E-02
Water	As	kg	0	2.23E-08	0	3.56E-06	3.58E-06
Water	BOD	kg	0	5.71E-05	0	9.99E-03	1.00E-02
Water	COD	kg	0	5.50E-05	0	9.63E-03	9.69E-03
Water	Cd	kg	0	3.05E-09	0	5.33E-07	5.37E-07
Water	Cr	kg	0	6.10E-08	0	1.07E-05	1.07E-05
Water	Hg	kg	0	2.15E-09	0	3.77E-07	3.79E-07
Water	total nitrogen	kg	0	3.54E-06	0	6.20E-04	6.24E-04
Industrial Wastes	Earth & sand (landfill)	kg	2.46E-01	0	0	0	2.46E-01
Industrial Wastes	Industrial waste landfill (unspecified)	kg	3.84E-02	2.94E-02	0	5.14E+00	5.21E+00
Industrial Wastes	low-level radioactive waste	kg	2.25E-06	1.63E-09	0	2.56E-07	2.53E-06
Industrial Wastes	plastic wastes (landfill)	kg	0	3.19E-07	0	5.59E-05	5.62E-05
Industrial Wastes	rubbls (landfill)	kg	0	6.33E-07	0	1.11E-04	1.11E-04
Industrial Wastes	slag (landfill)	kg	6.57E-01	8.18E-04	0	1.43E-01	8.01E-01
Industrial Wastes	sludge (landfill)	kg	0	1.80E-04	0	3.15E-02	3.17E-02



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล
วันเดือนปีเกิด
สถานที่เกิด
ที่อยู่ปัจจุบัน

นายสุวัฒนา แต่งไทย
14 มกราคม 2527
ศรีสะเกษ
768 หมู่ 6 ถนนคูเมือง ตำบลห้วยเหนือ
อำเภอขุนันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ 33140

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2538

ประถมศึกษาปีที่ 6

จาก โรงเรียนศรีประจักษ์กุล

พ.ศ. 2545

มัธยมศึกษาปีที่ 6

จาก โรงเรียนมัธยมวัดมกุฎกษัตริย์

พ.ศ. ๒๕๔๖

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

จาก มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

พ.ศ. 2554

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาการจัดการทางวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม

จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ