การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
โดยอาศัยหลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

นายสมพงษ์ วณิชวัฒนวรชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

ENVIRONMENTAL IMPACT OF HARD DISK DRIVE USING ECO-DESIGN APPROACH

Sompong Vanichwattanavorrachai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
โดยอาศัยหลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(อ. ดร.ฉัตรเพชร ยศพล)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.หาญพล พึ่งรัศมี)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สมพงษ์ วณิชวัฒนวรชัย : การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยอาศัยหลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (ENVIRONMENTAL IMPACT OF HARD DISK DRIVE USING ECO-DESIGN APPROACH) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร, 94 หน้า

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปัจจุบันมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญต่อการส่งออก ดังนั้นการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจจึงเป็นเครื่องมือสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและคำนึงถึงเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันไป การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นในการนำหลักการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจมาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและเสนอแนวทางการพัฒนาการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้ตรงตามความต้องการของลูกค้าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีขั้นตอนการศึกษา 3 ขั้นตอน ได้แก่ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ การศึกษาแนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และทำการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีขนาดความจุ 40-320 กิ๊กกาไบท์ด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99

จากผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมพบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 80 กิ๊กกาไบท์มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด โดยวิธี Eco-indicator 95 มีค่าผลกระทบเท่ากับ 0.0651 Pt และวิธี Eco-indicator 99 มีค่าผลกระทบเท่ากับ 1.8413 Pt และเมื่อพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Pt/GB) พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 40 กิ๊กกาไบท์มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดทั้งสองวิธี นอกจากนี้แนวโน้มผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะมีค่าลดลงตามขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เพิ่มขึ้น และพบว่าชิ้นส่วน PCBA และการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด อนึ่ง ในการประเมินผลกระทบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟพบว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจะแปรผันตามขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 320 กิ๊กกาไบท์มีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 40,012 คะแนนสำหรับวิธี Eco-indicator 95 และมีค่าเท่ากับ 1,392 คะแนนสำหรับวิธี Eco-indicator 99 ดังนั้นอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟควรทำการปรับปรุงการผลิตด้วยการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความจุที่เพิ่มสูงขึ้นและปรับปรุงชิ้นส่วน PCBA ด้วยการเลือกใช้วัสดุและวัตถุดิบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

SOMPONG VANICHWATTANAVORRACHAI : ENVIRONMENTAL IMPACT OF HARD DISK DRIVE USING ECO-DESIGN APPROACH. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. BOONCHAI WICHITSATHIAN, Ph.D., 94 PP.

ENVIRONMENTAL IMPACT / QFDE / ECO-DESIGN / HARD DISK DRIVE

Industrial hard drives as industry are critical to the economy of Thailand, and the current standards of environmental friendliness are important for exports, so the Eco-design is a kind of the environmental tool used to improve the products and make them environmentally friendly, and in the meantime compatible with the national economy. This study focuses on introducing the principles of Eco-design to improve the products, is intended to study the environmental impact caused by the products, and proposes the manufacturing development of hard disk drives that are also environmentally friendly, to meet the customers' demand. The study follows three steps: Assessment of the environmental impact caused by hard disk drives, development of approaches for hard disk drives, and performance evaluation of the Eco-efficiency of hard disk drives and analysis of the environmental impact of the hard disk drives with capacity from 40 to 320 gigabytes using Eco-indicator 95 and Eco-indicator 99.

The results of the study shows that a hard disk drive with 80 GB has the highest value of environmental impact checked out by the Eco-indicator 95, equal to 0.0651 Pt and by Eco-indicator 99 equal to 1.8413 Pt; and when considering the environmental impact against the capacity of hard disk drives (Pt/GB), it was found that the hard disk drive with 40 GB shows the highest environmental impact by both methods. It was also found that the environmental impact will likely be reduced as hard disk drive capacity increases, and that

PCBA parts and energy consumption lead to the highest environmental impact. In addition, the evaluation of the Eco-design impact of the hard disk drives found that the performance varies depending on the capacity of the hard disk drives, that is, a hard drive with 320 GB capacity achieves the most eco-efficiency, equal to 40,012 Pt for Eco-indicator 95 and 1392 Pt for Eco-indicator 99. Therefore, the hard drive industry should improve its production by designing the product with more capacity, and improving PCBA parts by using raw materials that are environmentally friendly.

School of Environmental Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2010 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย อาทิเช่น

ผศ. ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อ. ดร.ฉัตรเพชร ยศพล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อ. ดร.หาญพล พึ่งรัศมี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อ. ดร.วุฒิ ด่านกิตติคุณ รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ได้ประสาทวิชาให้จนผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในการศึกษาด้วยดี

คุณนารี กลิ่นกลาง เจ้าหน้าที่บริหารทั่วไป (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ขอบคุณเพื่อนบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจตลอดมา

ขอบคุณกองทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้ระบุนามในที่นี้ซึ่งให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา คุณพ่อซ้ง-คุณแม่เงียดเหมียว วณิชวัฒนวรชัย ที่ให้การอบรม เลี้ยงดู และส่งเสริมการศึกษาด้วยดีตลอดมา

สมพงษ์ วณิชวัฒนวรชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตการศึกษา 3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 4
2 ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 5
2.1.1 ความหมายของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 5
2.1.2 หลักการของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 5
2.1.3 ประโยชน์ของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 6
2.1.4 ขั้นตอนการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 7
2.1.5 เครื่องมือสิ่งแวดล้อมในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 8
2.1.6 การแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม 9
2.1.7 การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ 11
2.1.7.1 ECO-INDICATOR 95 14
2.1.7.2 ECO-INDICATOR 99 16
2.1.8 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 19
2.2.1 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 23
2.2.1.1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ 23
2.2.1.2 กระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน 25
2.2.1.3 กระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน 28
2.2.1.4 กระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียน 30
2.2.1.5 กระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ 31
2.2.2 การใช้ทรัพยากรในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 33
2.3 เกณฑ์มาตรฐานและปัญหาสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรม ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 37
2.4 การประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 38
2.5 โปรแกรม SIMAPRO 42
3 วิธีดำเนินการวิจัย 45
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 45
3.2 ประเภทผลิตภัณฑ์ในการทำวิจัย 46
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 46
3.3.1 ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 46
3.3.2 การศึกษาแนวทางพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 47
3.3.3 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 51
4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล 55
4.1 ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 55
4.1.1 คุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 55
4.1.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 59
4.1.3 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อขนาดความจุ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 60
4.1.4 เปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนวัตถุดิบ และขั้นตอนใช้งาน 62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.5 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 64
4.2 ศึกษาแนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม 65
4.2.1 ผลการสำรวจความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค 65
4.2.2 ผลการสำรวจความสัมพันธ์ความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมต่อพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม 67
4.2.3 ผลการแปลงหน้าที่สิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 70
4.3 ศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 73
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 76
5.1 สรุปผลการศึกษา 76
5.2 ข้อเสนอแนะจากการทำวิจัย 77
รายการอ้างอิง 78
ภาคผนวก 83
ภาคผนวก ก. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 83
ภาคผนวก ข. การศึกษาแนวทางพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคด้านสิ่งแวดล้อม..... 86
ภาคผนวก ค. ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 88
ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ระหว่างการศึกษา 90
ประวัติผู้เขียน 94

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม 11
2.2 วิธีการคำนวณการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย 13
2.3 รายละเอียดประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมและค่าในการคำนวณ
วิธี ECO-INDICATOR 95 16
2.4 รายละเอียดประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมและค่าในการคำนวณ
วิธี ECO-INDICATOR 95 18
2.5 การเข้ามาของผู้ประกอบการฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรายใหญ่ในประเทศไทย 20
2.6 ปริมาณการผลิต การส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไทย 21
2.7 ขั้นตอนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 26
2.8 ขั้นตอนกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน 29
2.9 ขั้นตอนกระบวนการประกอบผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 32
2.10 แนวทางทางการปรับปรุงชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 40
2.11 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวงจร
ชีวิตผลิตภัณฑ์ 43
3.1 คุณสมบัติฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในการวิจัย 46
3.2 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคในการตัดสินใจเลือกซื้อ
ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 52
4.1 คุณสมบัติฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในการวิจัย 57
4.2 ข้อมูลลูกค้าจากการสำรวจ 66
4.3 การประเมินปัจจัยความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อ
ปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์ 68
4.4 ผลรวมความสัมพันธ์ปัจจัยความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อ
ปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์ 71

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ฉลากสิ่งแวดล้อมประเทศไทยและประเทศต่าง ๆ 7
2.2 ขั้นตอนของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 8
2.3 กรอบการดำเนินงานการประเมินวงจรชีวิต 12
2.4 ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธี Eco-indicator 95 15
2.5 ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธี Eco-indicator 99 17
2.6 ชิ้นส่วนประเภท Direct Material ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 21
2.7 โครงสร้างอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 22
2.8 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 23
2.9 แผ่นเวเฟอร์ 24
2.10 หัวอ่านและเขียนข้อมูล 25
2.11 Head Gimbal Assembly 29
2.12 Head Stack Assembly 30
2.13 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 32
2.14 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ 34
2.15 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน 35
2.16 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน 35
2.17 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียน 36
2.18 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 36
2.19 แสดงอัตราส่วนแบ่งทางการตลาดของโปรแกรมสิ่งแวดล้อม 44
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 45
3.2 วิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 48
3.3 การใช้โปรแกรม Simapro 7.1 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 49
3.4 วิธีการศึกษาการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 50
3.5 การรวบรวมคะแนนความสัมพันธ์การประเมินหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม 53
3.6 ขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.1 การแยกชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด 56
4.2 ประเภทวัสดุของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 58
4.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 95 59
4.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 99 60
4.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 95 ต่อ GB 61
4.6 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 99ต่อ GB 62
4.7 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดด้วยวิธี Eco-indicator 95 64
4.8 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดด้วยวิธี Eco-indicator 95 64
4.9 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 65
4.10 ผลสำรวจจากความต้องการของลูกค้าด้านสิ่งแวดล้อม 67
4.11 ผลรวมแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้บริโภค ด้านสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม 71
4.12 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 95 72
4.13 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 99 73

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Al	=	Aluminium
Au	=	Gold
CT	=	Cleaner Technology
Eco-design	=	Economic and Ecology design
Eco-efficiency	=	ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ
GB	=	Giga Byte
GDP	=	Gross Domestic Product
HDD	=	Hard Disk Drive
HGA	=	Head Gimbal Assembly
HSA	=	Head Stack Assembly
kg	=	kilogram
kWh	=	kilo watt hour
LCA	=	Life cycle assessment
m^3	=	Cubic meter
MJ	=	Mega June
mPt	=	milli-point
ml	=	milli-liter
Pt	=	Point ค่าคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม
QFD	=	Quality Function Deployment
QFDE	=	Quality Function Deployment for Environment
PCBA	=	Print Circuit Board Assembly

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวด้านเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น โดยในช่วงระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมามีการเพิ่มขึ้นของสถานประกอบการอิเล็กทรอนิกส์ประมาณ 500 บริษัท จากทั้งหมด 821 บริษัท (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2551) โดยในปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีบทบาทสำคัญทางด้านเศรษฐกิจที่มีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 4,089 ล้านเหรียญ (สถาบันอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไทย, 2551)ซึ่งประมาณเป็นผลผลิตรวมทั้งประเทศประมาณร้อยละ 20 โดยกลุ่มผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สินค้าที่ส่งออกได้มากเป็นอันดับ 1 คือ ส่วนประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสินค้ากลุ่มนี้มีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ อีกทั้งประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่มีการส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบคอมพิวเตอร์เป็นอันดับที่ 2 หรือคิดเป็นส่วนแบ่งถึง 19.9% ของตลาดโลก (Hard Disk Drive Institute, 2551) สำหรับปี พ.ศ. 2550 ไทยสามารถส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ได้สูงถึง 551,030 ล้านบาทหรือคิดเป็น 10.51% ของการส่งออกโดยรวมทั้งประเทศ (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2551; สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนอกจากเป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญต่อภาคการส่งออกของไทยแล้ว ไทยยังถูกจัดว่าเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่สำคัญของโลกอีกด้วย

จากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและประชากรทั่วโลกให้ความสำคัญในปัจจุบัน ที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากความเจริญทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรม ที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ อาทิเช่น การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเรือนกระจก รูรั่วโอโซน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยโลก การเกิดพายุบ่อยครั้ง น้ำแข็งขั้วโลกที่มีอัตราการละลายสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของน้ำทะเล มลพิษน้ำเสียมลพิษกากของเสีย จึงทำให้เกิดความร่วมมือ เพื่อลดการเพิ่มสูงขึ้นของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่กำลังทวีความรุนแรงขึ้นในปัจจุบัน ได้แก่ พิธีสารเกียวโต พิธีสารมอนทรีออล ฯลฯ โดยเป็นความร่วมมือระหว่างประเทศ และในความร่วมมือทางการค้าได้มีการนำมาตรการต่าง ๆ มาใช้ในการเจรจาซื้อขายเพื่อช่วยในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระเบียบการค้าสหภาพยุโรป (European Union: EU) มีระเบียบข้อกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในสหภาพยุโรปโดยมีข้อกำหนดดังนี้ ระเบียบเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE) ระเบียบ

การจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อิเล็กทรอนิกส์ (The Restriction of use of certain Hazardous Substance in electrical and electronic equipment : RoHs) ระเบียบว่าด้วยกรอบข้อกำหนดการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลังงาน (Energy using Product : EuP) ซึ่งระเบียบต่าง ๆ ได้เริ่มบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 13 สิงหาคม 2548 วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 และวันที่ 26 กรกฎาคม 2548 ตามลำดับ (ThaiRoHs, 2551)

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีกระบวนการผลิตหลัก 5 กระบวนการ ได้แก่ (1) กระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ (2) กระบวนการผลิตหัวอ่าน (3) กระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่าน (4) กระบวนการผลิตชุดหัวอ่าน และ (5) กระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยในกระบวนการหลักมีขั้นตอนปลีกย่อยที่ซับซ้อนมากกว่า 100 ขั้นตอน (Kumar and Thomas, 2003) ทำให้การวิเคราะห์ประเด็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อม (Environmental aspect identification) ที่ต้องมีความละเอียดรอบคอบ ในปัจจุบันฐานข้อมูลในการจัดการสิ่งแวดล้อม และระบุประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในประเทศไทยที่มีอยู่ค่อนข้างน้อย อีกทั้งกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำ วัตถุดิบ และสารเคมีในกระบวนการผลิต ก่อให้เกิดมลพิษต่าง ๆ เช่น การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำเสียจากกระบวนการล้างชิ้นงาน มลพิษอากาศเสียจากไอระเหยของสารเคมี และกากของเสียอันตราย โดยในการแก้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในปัจจุบันเป็นการแก้ไขปัญหาที่ปลายเหตุ (End of pipe treatment) ด้วยการเน้นที่ระบบกำจัดมลพิษต่าง ๆ เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมีและชีวภาพ ระบบบำบัดมลพิษอากาศ เช่น ระบบดักฝุ่นแบบเปียก (Wet scrubber) ฯลฯ ซึ่งวิธีการเหล่านี้ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายและการสูญเสียทรัพยากรค่อนข้างสูง อีกทั้งยังเป็นการสร้างมลพิษในรูปใหม่ซึ่งต้องนำไปบำบัดในขั้นต่อไปดังนั้นเพื่อเป็นการสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้มีการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development) จำเป็นต้องทราบถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในระดับสาเหตุ เพื่อป้องกันมลพิษ อีกทั้งเพื่อลดการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติ

การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) คือ กระบวนการที่ผนวกแนวคิดด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อม เข้าไปในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการต่าง ๆ โดยเป้าหมายหลักของการออกแบบ เพื่อให้เกิดการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติ พลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งอาศัยกลยุทธ์ในการพิจารณาออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถจำหน่ายได้และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะทำให้ส่งผลดี ทั้งทางด้านธุรกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างผลกำไรให้กับองค์กรในการนำกระแสความต้องการสินค้าและการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาใช้เป็นจุดเด่นในการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตจากการลดปริมาณวัตถุดิบ หีบห่อ การใช้พลังงานในการผลิต สินค้าและบริการ และช่วยป้องกันปัญหาการใช้กำแพงที่มิใช่ภาษีสิ่งแวดล้อมและรองรับ

การเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบต่าง ๆ ที่มีความเข้มงวดทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการค้ากับประเทศต่าง ๆ เช่น WEEE RoHs และ EuP เป็นต้น

จากความสำคัญของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ปัญหาภาวะสิ่งแวดล้อม ปัญหาโลกร้อน และการค้าระหว่างประเทศของประเทศไทย ทำให้ผู้วิจัยในฐานะวิศวกรสิ่งแวดล้อมเล็งเห็นแนวทางในการสร้างลักษณะและคุณสมบัติพิเศษให้ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เพื่อเป็นจุดเด่นที่ส่งผลในการค้าและอำนวยประโยชน์แก่ทุกฝ่าย อีกทั้งสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในด้านคุณภาพ การตลาด ควบคู่ไปกับการคำนึงถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในประเทศไทยและแก้ปัญหาการจัดการมลพิษที่แหล่งกำเนิด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ด้วยการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

2. เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ที่ได้ตรงความต้องการของลูกค้าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

1. การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟติดตั้งภายในขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลขนาดความจุ 40 80 160 250 และ 320 GB ที่ผลิต ณ สถานที่เดียวกัน

2. การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป SimaPro v7.1 ด้วยใช้วิธีการคำนวณ Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 โดยทำการประเมินในขั้นตอนวัตถุดิบของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และขั้นตอนการใช้งาน ด้วยการแยกชิ้นส่วนและวัสดุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการใช้งาน ซึ่งจะแสดงค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นปลาย (Single score)

3. การนำความต้องการของลูกค้าและผู้บริโภคจากแบบสำรวจ 400 ฉบับมาเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจสำหรับผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เพื่อช่วยลดผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า โดยกลุ่มประชากรของแบบสอบถามลูกค้าเป็นนักศึกษามหาวิยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อเป็นกรณีศึกษาแนวทางการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมให้กับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและอุตสาหกรรมอื่น ๆ นำไปประยุกต์ใช้หาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่น้อยลงและตรงความต้องการของลูกค้า

4. การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้บริโภคด้านสิ่งแวดล้อมกับพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม ทำการประเมินด้วยวิธีการสอบถาม แบบสอบถาม หรือทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) จากผู้ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตและการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจากสถานประกอบการฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในประเทศไทยจำนวน 40 ฉบับ

5. การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เพื่อเป็นกรณีศึกษาแนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ที่ได้ตรงความต้องการของลูกค้าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเครื่องมือการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม (Quality Function Deployment for Environmental : QFDE)

6. ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยใช้กลไกด้านราคาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเปรียบเทียบกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในรูปแบบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) วิธีการคำนวณ Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและช่วงวงจรชีวิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ให้มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่น้อยลงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มโอกาสในด้านเศรษฐกิจและรองรับกฎระเบียบทางด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

2. สามารถนำวิธีการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ตรงความต้องการของลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2
ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นจะมุ้งเน้นการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและผู้ผลิตเป็นหลักด้วยการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เน้นพิจารณาทางด้านต้นทุน การทำงาน ความสวยงาม และความปลอดภัยเป็นหลัก แต่จากปัญหาที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ทำให้มุมมองการออกแบบผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไป สู่แนวคิดการออกแบบที่มีการพิจารณาด้านอื่น ๆ ได้แก่ การพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสังคมและด้านจริยธรรม การออกแบบผลิตภัณฑ์จากแนวคิดเดิมได้ขยายไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ จริง ๆ แล้วแนวคิดนี้ไม่ได้เป็นเรื่องใหม่แต่อย่างใด เพราะได้ถูกนำมาพิจารณาครั้งแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 ในการประชุม World Conservation Strategy (Charter and Tischner, 2001)

2.1.1 ความหมายของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ความหมายของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Economic & Ecological Design: Eco-design) เป็นกระบวนการที่ผนวกแนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle) ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนผลิตภัณฑ์ ช่วงการออกแบบ ช่วงการผลิต ช่วงการนำไปใช้และช่วงการทำลายหลังการใช้งาน ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาผลิตภัณฑ์และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปพร้อม ๆ กัน โดยส่งผลดีต่อธุรกิจ ชุมชน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development)

2.1.2 หลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

หลักการพื้นฐานของการทำการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ คือการประยุกต์หลักการของ 4R ในทุกช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ช่วงของวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ว่านี้ ได้แก่ ช่วงการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Planning phase) ช่วงการออกแบบ (Design phase) ช่วงการผลิต (Manufacturing phase) ช่วงการนำไปใช้ (Usage phase) และช่วงการทำลายหลังการใช้เสร็จ (Disposal phase) หลักการของ 4R ได้แก่ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการซ่อมบำรุง (Repair) ที่มีความสัมพันธ์กับแต่ละช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

การลด (Reduce) หมายถึงการลดการใช้ทรัพยากรในช่วงต่าง ๆ ของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถเกิดได้ในทุกช่วงของวงจรชีวิต โดยมากจะพบในช่วงการออกแบบ ช่วงการผลิต และ การนำไปใช้ อาทิเช่น การลดการใช้ทรัพยากรในการออกแบบ การออกแบบเพื่อลดอัตราการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต การออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และ การออกแบบเพื่อลดการใช้พลังงานในระหว่างการใช้งาน เป็นต้น

การใช้ซ้ำ (Reuse) หมายถึงการนำผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านช่วงการนำไปใช้เรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะเข้าสู่ช่วงของการทำลาย กลับมาใช้ใหม่ ทั้งที่เป็นการใช้ใหม่ในผลิตภัณฑ์เดิม หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ตาม ได้แก่ การออกแบบเพื่อการนำกลับมาใช้ซ้ำ (Design for Reuse) เช่นการออกแบบให้ผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นมีชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนที่ใช้ร่วมกันได้ เมื่อรุ่นแรกหยุดการผลิตแล้วยังสามารถเก็บคืนและนำบางชิ้นส่วนมาใช้ในการผลิตรุ่นต่อไปได้ เป็นต้น

การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) หมายถึงการนำผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในช่วงของการทำลายมาผ่านกระบวนการแล้วนำกลับในใช้ใหม่ตั้งแต่ช่วงของการวางแผน การออกแบบหรือแม้แต่ช่วงของการผลิต ได้แก่ การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย (Design for Disassembly) การออกแบบเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ (Design for Recycle) เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้วัตถุดิบพลาสติกหรือ กระดาษที่ง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น

การซ่อมบำรุง (Repair) หมายถึงการออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ทั้งนี้มีแนวคิดที่ว่าหากผลิตภัณฑ์สามารถซ่อมบำรุงได้ง่ายจะเป็นการยืดอายุช่วงชีวิตของการใช้งาน (Extended Usage Life) ซึ่งท้ายที่สุดสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ การซ่อมบำรุงนี้เกิดภายในช่วงชีวิตของการใช้งานเท่านั้น แตกต่างจากการใช้ซ้ำ (Reuse) ซึ่งเป็นการนำชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่เสร็จจากช่วงการใช้งานแล้วมาใช้อีกครั้ง การซ่อมบำรุงนี้ได้แก่ การออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง (Design for serviceability/Design for maintainability) เช่นการออกแบบให้เปลี่ยนอะไหล่ได้ง่าย เป็นต้น

2.1.3 ประโยชน์ของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

1. เพื่อสร้างผลกำไรให้กับองค์กรในการนำกระแสความต้องการสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาใช้เป็นจุดเด่นในการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค
2. ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตจากการลดปริมาณวัตถุดิบ หีบห่อ การใช้พลังงานในการผลิต สินค้าและบริการ
3. สามารถนำวัสดุหรือชิ้นส่วนกลับมาใช้ใหม่ โดยการปรับปรุงผลิตภัณฑ์จากการออกแบบ Modular Design
4. ป้องกันปัญหาการใช้กำแพงที่มิใช้ภาษีสิ่งแวดล้อมและรองรับ

การเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบต่าง ๆ ที่มีความเข้มงวดทางด้านสิ่งแวดล้อมจากประเทศต่าง ๆ เช่น WEEE RoHs EuP เป็นต้น

5. ส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กรและผลิตภัณฑ์ เช่น ฉลากสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ฉลากสิ่งแวดล้อมประเทศไทยและประเทศต่าง ๆ

2.1.4 ขั้นตอนการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

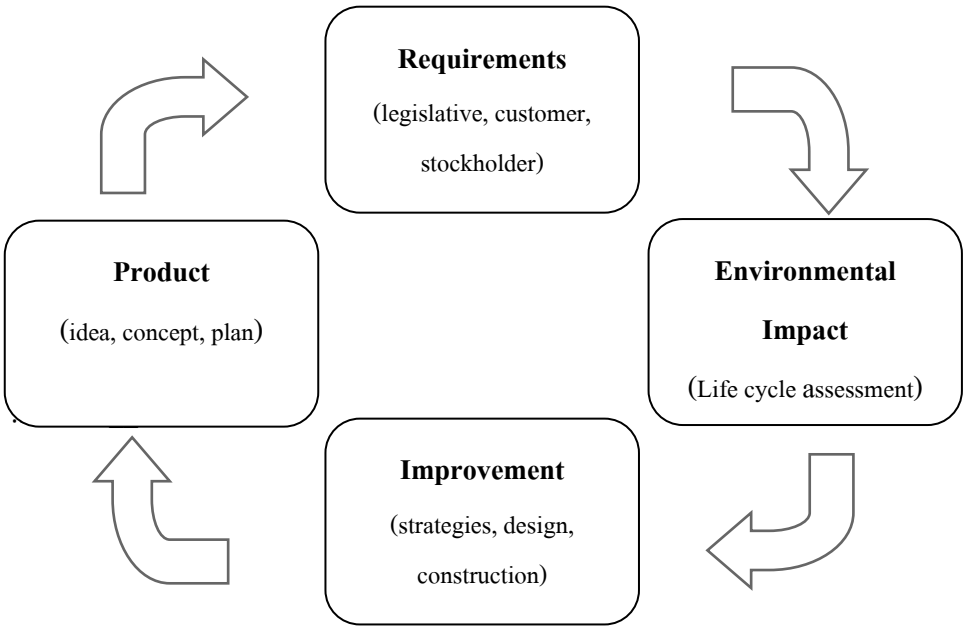
การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจประกอบด้วย 4 กระบวนการ (Stachura, Schiffleitner, and Salhofer, 2008) ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย

Requirements เป็นขั้นตอนการพิจารณาถึงความต้องการผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของลูกค้า หรือกฎหมายที่กำหนดไว้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้รับการยอมรับจากลูกค้าหรือผู้ที่ได้รับผลกระทบ

Environmental Impact เป็นขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อทำการค้นหาช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Improvement เป็นการปรับปรุงและแก้ไขกระบวนต่าง ๆ ในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ด้วยกลยุทธ์หรือเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology: CT) การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพทางด้านสิ่งแวดล้อม (Quality Function Deployment for Environment: QFDE) เป็นต้น

Product เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ก่อนทำการเปรียบเทียบ ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจกับผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน ในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

2.1.5 เครื่องมือสิ่งแวดล้อมในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจนั้นประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ซึ่งแต่ละขั้นตอนนั้นมีการใช้เครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมเข้ามาช่วยในการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีการบริโภคทรัพยากรและมีมลพิษออกมาน้อย หรือเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำ EcoDesign นั้นสามารถแบ่งได้เป็น เครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบ และเครื่องมือที่ช่วยในการประเมินผลการออกแบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบ

DFM/DFA Guideline DFM (Design for Manufacturing) และ DFA (Design for Assembly) เป็นแนวทางซึ่งหากนักออกแบบนำไปใช้แล้วย่อมทำให้เกิดความสะดวกในการผลิตและการประกอบ ลดความผิดพลาดและสามารถส่งผลให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

QFDE (Quality function Deployment for Environmental) ดัดแปลงจาก QFD (Quality function Deployment) โดยนักวิชาการชาวญี่ปุ่น โดยเพิ่มองค์ประกอบการวิเคราะห์

ด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไป เป้าหมายหลักคือการปรับเปลี่ยนความต้องการของลูกค้าให้อยู่ในรูปของข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบ เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบนั้นสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

เครื่องมือที่ช่วยในการประเมินผล

DFE (Design for environmental) เป็นแนวทางการตรวจสอบอย่างง่ายเพื่อที่จะพิจารณาว่า คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบนั้น มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด

LCA (Life cycle assessment) การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาใช้ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือของกระบวนการผลิต หรือของการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

Eco-effiency การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษกิจ เป็นการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถช่วยในการวิเคราะห์ในขั้นของการออกแบบทำให้ได้ผลที่เพียงพอจะตัดสินใจได้ว่าแบบของผลิตภัณฑ์ใดมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

โดยเครื่องมือของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่นิยมใช้ในการช่วยออกแบบคือ QFDE (Quality function Deployment for Environmental) ที่มีการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ อาทิ ไดร์เป่าผม บรรจุภัณฑ์วงจรไฟฟ้า โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น (Heejeong and Christoph, 2003; Bereketi, Gennevois, and Ulukan, 2009; Keijiro, Tomohiko, Mitsuru, and Atsushi, 2001) ที่ได้ตรงตวามต้องการของตลาดและลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อม และช่วยในการวิเคราะห์หาชิ้นส่วนที่มีความสำคัญต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ (Akao, 1990) และเครื่องมือในการประเมินผลที่มีการนิยมใช้ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ คือเครื่องมือการประเมินวงจรชีวิตผลิตถัณฑ์ (Life cycle assessment) ที่ให้ความชัดเจนเกี่ยวกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์และขั้นตอนกระบวนการผลิตที่เกิดโดยตรงและโดยอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ (Halog, Schultmann, and Rentz, 2001)

2.1.6 การแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม

จากการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) สามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานหลายด้าน เช่น การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การออกแบบงานบริการ การวางแผน กลยุทธ์ การแก้ไขปัญหาคุณภาพ QFD ช่วยสร้างความมั่นใจว่าบริษัท โดยนำความต้องการของลูกค้ามาตั้งเป็นโจทย์ในการทำงาน จึงช่วยให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างแท้จริง บริษัทต่าง ๆ ที่นำ QFD มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะพบว่า QFD ช่วยประกันความพึงพอใจของลูกค้า และเพิ่มยอดขายของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนลดปัญหาที่พบใน

ช่วงแรก ๆ ของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ และลดเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้อย่างมาก จากประโยชน์ในการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ สมาคมการจัดการสิ่งแวดล้อมญี่ปุ่น (Japan Environmental ManagementAssociation for Industry: JEMAI) จึงพัฒนาเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางด้านสิ่งแวดล้อม (Quality Function Deployment for Environment: QFDE) ใช้ในขั้นต้นของการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ให้ความสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยตัดสินใจเลือกข้อเสนอในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ โดยใช้ตารางคุณภาพ (Quality table) ซึ่งเป็นรูปแบบเมทริกซ์ เพื่อข้อมูลเสียงของลูกค้า (Voice of Customer: VOC) ไปเป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ มีการให้แต้มและการถ่วงน้ำหนักตามระดับความสำคัญ

ในการทำการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยความต้องการของลูกค้าที่ได้จากแบบสอบถามความต้องการของลูกและการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าทางด้านสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์ทางด้านสิ่งแวดล้อมจากผู้ชำนาญการหรือที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ โดยขั้นตอนการแปลหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย 5 ขั้นตอน

1. การออกแบบสำรวจแบบสอบถามความต้องการของลูกค้าทางด้านสิ่งแวดล้อม
2. การให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าทางด้านสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์ทางด้านสิ่งแวดล้อมจากผู้ชำนาญการหรือผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์
3. ทำการคำนวณความต้องการของลูกค้าทางด้านสิ่งแวดล้อมและคะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าทางด้านสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์ทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วยการคูณ
4. ทำการรวบรวมคะแนนของพารามิเตอร์ทางด้านสิ่งแวดล้อมแต่ละประเด็น
5. การประเมินผลโดยพารามิเตอร์ทางด้านสิ่งแวดล้อมประเด็นใดคะแนนมากที่สุดควรได้รับความสำคัญในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ โดยแสดงตารางการแปลงหน้าที่คุณภาพทางด้านสิ่งแวดล้อมในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม

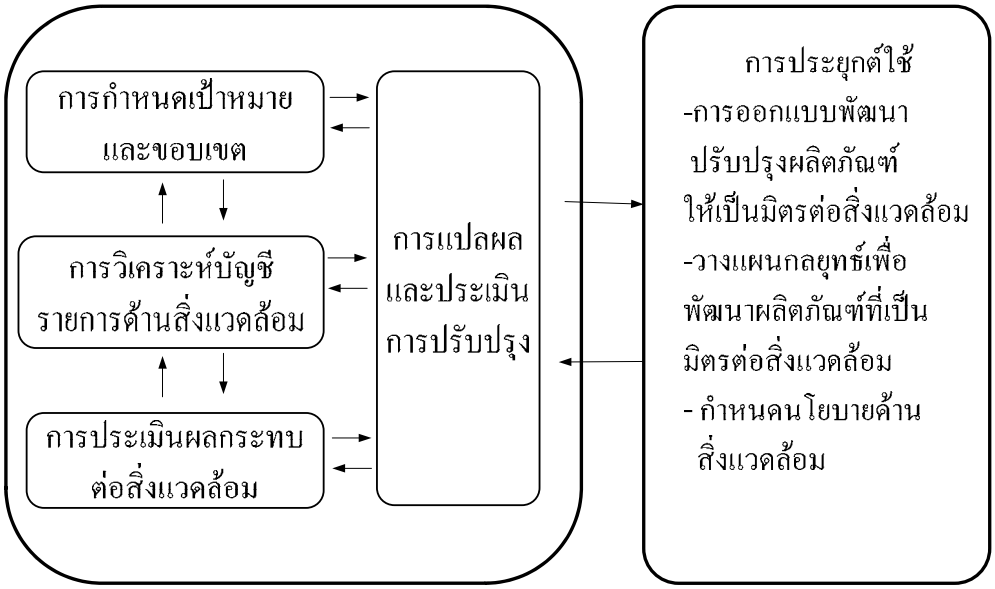
Environmental Parameter / Environmental Stakeholder requirement	VOC importance le	Weight	Volume	Lift time	Functionality	Number of part	Supply part Env. performance	Material used	Problematic material	Production Technology	Production waste	Air,waster,soil emission	Typa amd material of packaging	Transportation	Usability	Energy of consumption	Waste (inure)	Air,waster,soil emission(inure)	Noise and vibration	Maintenance	Reparability	Fastener and joint	Time of disassembly
Environmental safe																							
Free of hazardous substanc																							
Light weight																							
Durable																							
Energy saving																							
Easy to use																							
Easy to maintain																							
Easy to recycle																							
Easy to disassembly																							
Easy to reuse																							
Multifunction																							
Sum																							

2.1.7 การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นการประเมินถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ ที่จะส่งผลกระทบสุขภาพมนุษย์ และคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยในการประเมินนั้นจะแบ่งเป็นช่วง ได้แก่ วัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัด ซึ่งจะช่วยในการนำเสนอมลพิษที่เกิดขึ้นและความต้องการทรัพยากรธรรมชาติของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เช่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต กากของเสียจากกระบวนการผลิต (Ola et al., 2007) เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ โดยมีข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องมือสนับสนุนผลการวิเคราะห์ เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ และมีการแสดงข้อมูลในเชิงปริมาณสะท้อนให้เห็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ลดลงหลังการปรับปรุง จะทำให้ได้ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สามารถช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้และการพัฒนาด้านอื่น ๆ เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ และการออกแบบผลิตถัณฑ์ เป็นต้น จากเป้าหมายของการศึกษาดังกล่าว จะเป็นตัวบ่งบอกระดับของรายละเอียดที่จะต้องทำการศึกษา ซึ่งขั้นตอนในการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.3 ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)
3. การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)
4. การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

โดยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นประกอบด้วยวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลายวิธีให้เลือกเพื่อทำการประเมินผลกระทบ เช่น Eco-indicator 95 Eco-indicator 99 CML EPS 2000 (Environmental Priority Strategies) และ EDIP (Environmental Design of Industrial Products) เป็นต้น โดยในการเลือกใช้วิธีคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นมีวิธีเลือกมากมายขึ้นอยู่กับผู้วิจัยต้องการสื่อสารผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านใดออกไป โดยในประเทศไทยมีการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด โดยแสดงการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์และวิธีการคำนวณผลกระทบในตารางที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยนั้น มีการเลือกใช้วิธีการคำนวณหลายวิธี แต่วิธีที่มีการใช้เป็นส่วนใหญ่นั้นคือ Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 และนำเสนอผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เนื่องจากช่วยในการตัดสินใจปรับปรุงผลิตภัณฑ์ได้ง่าย จากการให้ความสัมพันธ์ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้าน ซึ่งการเลือกนำเสนอผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นมี 2 รูปแบบ คือ Midpoint และ Single score โดยการเลือกรูปแบบการนำเสนอผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ประเมิน (Bare, 2000)



รูปที่ 2.3 กรอบการดำเนินงานการประเมินวงจรชีวิต

ตารางที่ 2.2 วิธีการคำนวณการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

การศึกษา	วิธีการคำนวณ/รูปแบบผลกระทบ	อ้างอิง
การประเมินวัฏจักรชีวิตของเทปบันทึกเสียง	Eco-indicator 95/ Single score	พงษ์วิภา โรจน์สมบูรณ์ (2545)
การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องรับโทรทัศน์	Eco-indicator 95/ Single score	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2546)
การประเมินวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์	Eco-indicator 95/ Single score	ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ และคณะ (2546)
การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นที่ใช้ในบ้าน	EDIP, Eco-Indicator 99/ Single score	ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา (2547)
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสีผงประเภทโพลีเอสเตอร์-อีพอกซี	Eco-indicator 95/ Single score	กฤษกร เจียมจำรัสศิลปะ และคณะ (2548)
การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตอะเซทีลินคาร์บอนแบล็ค กรณีศึกษาใช้ในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่แห้ง	Eco-indicator 99/ Single score	ณัฐเขต หมูทอง (2548)
การประเมินวัฏจักรชีวิตของหลอดฟลูออเรสเซนต์	EDIP/ Single score	นรรัตน์ รอดประเสริฐ (2548)
การประเมินวัฏจักรชีวิตในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม	EDIP/ Charecterization, Single score	ธีรนันทา ฤทธิ์มณี และจิรวรรณ เตียรถ์สุวรรณ (2548)
การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่ระดับแนวคิดของโคมไฟฟ้า	Eco-indicator 99/ Single score	จิรพัฒน์ โพธิ์พ่วง และคณะ (2549)
การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่ระดับแนวคิดของบัลลาสต์	Eco-indicator 99/ Single score	ปริญญ์ บุญกนิษฐ, อรรถกร เก่งพล และอรรคเจตต์ อภิชจรศิลป์ (2549)

ตารางที่ 2.2 วิธีการคำนวณการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย (ต่อ)

การศึกษา	วิธีการคำนวณ/รูปแบบ	อ้างอิง
การประเมินสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	Eco-indicator 99/ Single score	อัครเดช จวงถาวร, ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, งามทิพย์ ภู่วโรดม และ รัตนาวรรณ มั่งคั่ง (2550)
การประเมินวัฏจักรชีวิตของแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (แบตเตอรี่รถยนต์)	Eco-indicator 95 /Single score	สุดกล้า บุญญนันท์, นฤเทพ เล็กศิวิไล และ กิตติวรรณ กิจปกรณ์สันติ (2552)

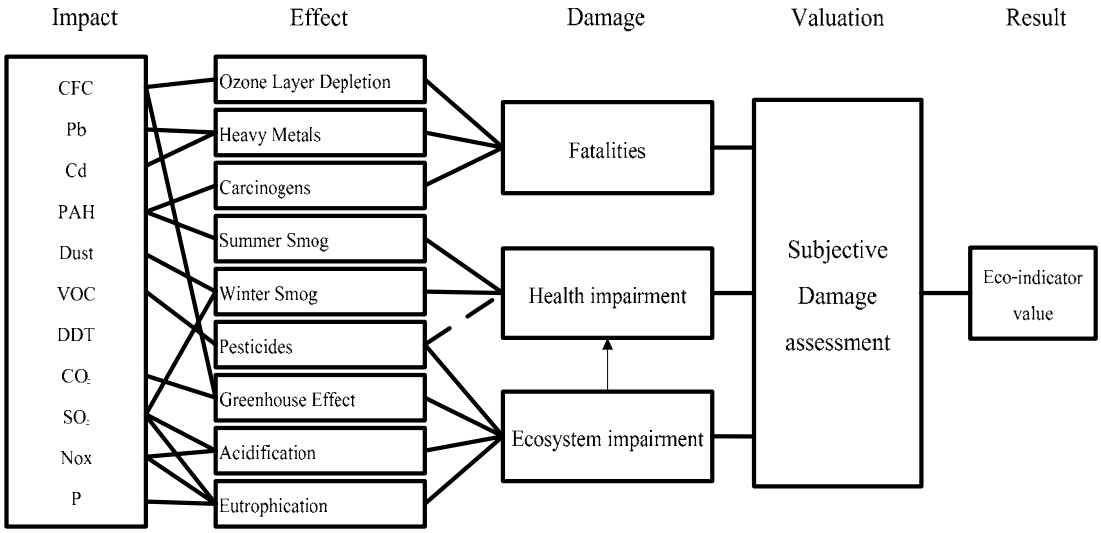
2.1.7.1 Eco-indicator 95

วิธีคำนวณการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 95 เป็นดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์แบบ Charecterization และ single score ที่นิยมใช้สำหรับการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เพื่อชี้ให้เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งดัชนีชี้วัดนี้ถูกคำนวณขึ้นมาบนพื้นฐานของ Life Cycle Assessment โดย คำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างได้แก่ น้ำหนักของวัสดุ กระบวนการผลิต การขนส่ง การผลิตและใช้พลังงานและการกำจัด ส่วนน้ำหนักของผลกระทบได้จากการตีค่าความเสียหายต่อระบบนิเวศน์ในด้านต่าง ๆ (ทรัพยากร ระบบนิเวศน์ มนุษย์) ซึ่งผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถใช้ดัชนีชี้วัดนี้สำหรับการประเมินผลิตภัณฑ์ (Goedkoop, 1996) โดยมีขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม 3 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์บัญชีมลพิษสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเด็นปัญหา และการแปลงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยวดังแสดงรูปที่ 2.4 โดยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธี Eco-ndicator 95 มีรายละเอียดดังนี้

1. การวิเคราะห์บัญชีมลพิษสิ่งแวดล้อม ทำการวิเคราะห์มลพิษที่เกิดขึ้นและมีการปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปความเข้มข้นหรือปริมาณ

2. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเด็นปัญหา เป็นขั้นตอนการนำมลพิษที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดมลพิษแปลงผลเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแต่ละประเด็น โดยมีทั้งหมด 10 ประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในรูปปริมาณมลพิษผลกระทบแต่ละด้าน ดังตารางที่ 2.3

3. การวิเคราะห์บัญชีมลพิษสิ่งแวดล้อม ทำการวิเคราะห์มลพิษที่เกิดขึ้นและมีการปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปความเข้มข้นหรือปริมาณ



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธี Eco-indicator 95

4. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเด็นปัญหาเป็นขั้นตอนการนำมลพิษที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดมลพิษแปลงผลเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแต่ละประเด็น โดยมีทั้งหมด 10 ประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในรูปปริมาณมลพิษผลกระทบแต่ละด้าน ดังแสดงตารางที่ 2.3

5. การแปลงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยว การนำค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละด้านเปรียบเทียบกับปริมาณมลพิษที่มีการปล่อยออกของประเทศเพื่อทำการแปลงหน่วยผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหน่วยเดียวกัน (Normalization) และคูณกับค่าน้ำหนักผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Weighting) ในแต่ละประเด็นที่ขึ้นอยู่กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเด็น ก่อนทำการรวบรวมคะแนนแต่ละประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้านที่ประกอบด้วย Fatalities Health impairment และ Ecosystem impairment และรวบรวมคะแนนแต่ละด้านผลกระทบในรูปคะแนนเชิงเดี่ยว โดยแสดงค่าน้ำหนักผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเด็นในการแปลงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 2.3

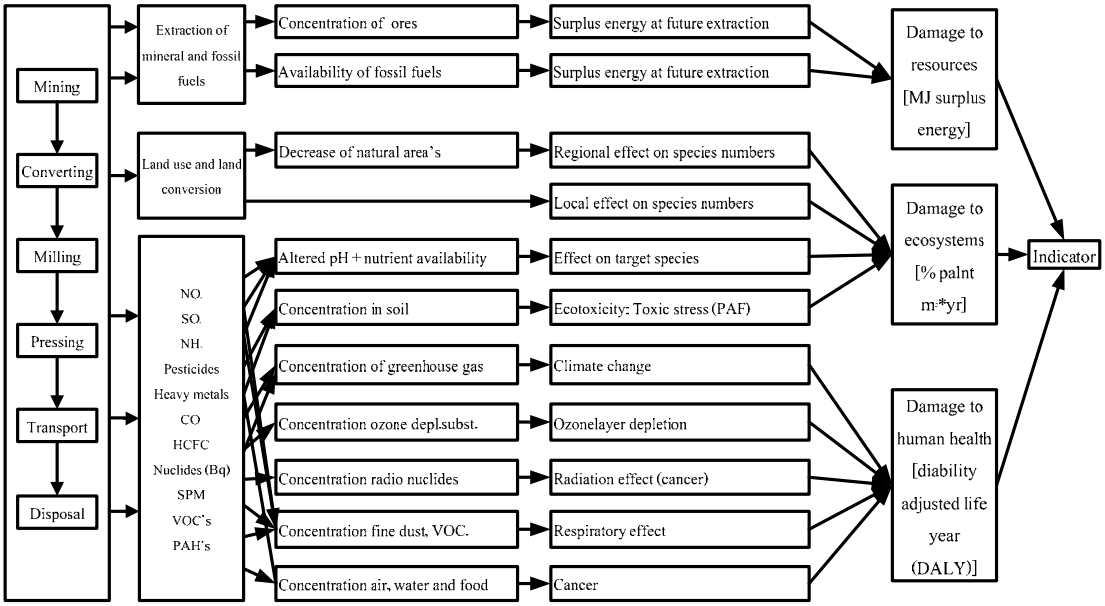
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมและค่าในการคำนวณวิธี Eco-indicator 95

Characterization	Unit	Normalization	Weighting
Greenhouse Effect	kg CO2	7.65E-05	2.5
Ozone Layer Depletion	kg CFC11	1.08	100
Acidification	kg SO2	0.00888	10
Eutrophication	kg PO4	0.0262	5
Heavy Metals	kg Pb	18.4	5
Carcinogens	kg B(a)P	92	10
Winter Smog	kg SPM	1.04	25
Summer Smog	kg C2H4	0.0558	2.5
Energy Resources	MJ LHV	0.0106	5
Solid Waste	kg	6.29E-06	0

2.1.7.2 Eco-indicator 99

วิธีการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 99 นั้นเป็นดัชนีชี้วัดเชิงนิเวศน์แบบ Charecterization และ single score เช่นเดียวกับวิธีการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 95 แต่มีการเพิ่มประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ยังขาดในวิธี Eco-indicator 99 และมีการให้ความสัมพันธ์ระหว่างประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับเป้าหมายที่ได้รับผลกระทบ โดยไม่ได้แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเด็นในรูปแบบปริมาณหรือความเข้มข้นของมลพิษ แต่แสดงค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบผลกระทบต่อมนุษย์และระบบนิเวศน์ที่ถูกทำลาย (Goedkoop, 2000) หรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีกาคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 99 นั้นเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับสุขภาพของสิ่งมีชีวิตนั้นเอง โดยขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธี Eco-indicator 99 มี 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.5 และมีรายละเอียดดังนี้

1. การวิเคราะห์บัญชีสิ่งแวดล้อม ทำการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรธรรมชาติพื้นที่และมลพิษที่เกิดขึ้นและมีการปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์
2. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การใช้พื้นที่ในการทำกิจกรรม และมลพิษที่มีการปล่อยออกสู่ธรรมชาติในประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อม 10 ประเด็นที่อยู่ในรูปความเข้มข้นหรือปริมาณก่อนทำการประเมินเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับผู้รับ 11 ประเด็น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธี Eco-indicator 99

3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การใช้พื้นที่ในการทำกิจกรรม และมลพิษที่มีการปล่อยออกสู่ธรรมชาติในประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อม 10 ประเด็นที่อยู่ในรูปความเข้มข้นหรือปริมาณก่อนทำการประเมินเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับผู้รับ 11 ประเด็น ดังแสดงในรูปที่ 2.5

4. การแปลงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยว โดยนำค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับผู้รับเปรียบเทียบกับค่าสมดุลของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 ด้าน (Normalization) ก่อนทำการรวบรวมค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้แก่ แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ ระบบนิเวศน์ และสุขภาพมนุษย์ มีหน่วยเป็น MJ surplus PDF m^2*yr และ DALY ตามลำดับ และคูณกับค่าน้ำหนักผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับผู้รับใน 3 ด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Weighting) ก่อนทำรวบรวมคะแนนที่อยู่ในรูปคะแนนเชิงเดี่ยว (Point) โดยแสดงค่า Normalization และ Weight ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมและค่าในการคำนวณวิธี Eco-indicator 99

Charecterization	Unit	Normalization	Damage	Normalization	Weight
Minerals	MJ surplus	1	Resource (MJ surplus)	0.000119	200
Fossil fuels	MJ surplus	1			
Ecotoxicity	PAF*m^2yr	0.1	Ecosystems (PDF*m^2yr)	0.000195	400
Acidification/ Eutrophication	PDF*m^2yr	1			
Land use	PDF*m^2yr	1			
Carcinogens	DALY	1	Human health (DALY)	65.1	400
Resp. organics	DALY	1			
Resp. inorganics	DALY	1			
Climate change	DALY	1			
Radiation	DALY	1			
Ozone layer	DALY	1			

2.1.8 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco - efficiency) หมายถึง ศักยภาพในการผลิตและการบริการในราคาที่แข่งขันได้โดยสามารถสนองความต้องการของมนุษย์และนำมาซึ่งคุณภาพชีวิตในขณะเดียวกันก็สามารถลดผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและทรัพยากรธรรมชาติตลอดอายุของผลิตภัณฑ์หรือบริการนั้นในระดับที่อย่างน้อยสอดคล้องกับความสามารถรองรับได้ของโลกใบนี้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2552) โดย WBCSD (1992) ได้กำหนดวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ 1

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency)} = \frac{\text{มูลค่าผลิตภัณฑ์หรือการบริการ}}{\text{ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม}} \quad (2.1)$$

ซึ่งประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเป็นหลักการสำคัญที่จะช่วยให้บริษัทและรัฐบาล หรือแม้กระทั้งองค์กรต่าง ๆ มีแนวทางและทิศทางการพัฒนาที่ยั่งยืนมากขึ้นเพราะได้คำนึงถึงองค์ประกอบหลัก ๆ ที่สำคัญคือ การสร้างสมดุลระหว่างความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ปกป้องรักษาระบบนิเวศไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากโดยยึดหลักการสร้างความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ

ด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรและลดการปล่อยมลพิษซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม หลักการนี้จะทำให้บริษัทเพิ่มผลผลิตด้วยการลดการใช้ทรัพยากรและลดการปล่อยมลพิษมีผลให้บริษัทมีความจำเป็นที่จะต้องประยุกต์ใช้นวัตกรรมใหม่ ๆ เช่น เทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมีแรงจูงใจที่จะพัฒนาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ดังนั้นนิเวศเศรษฐกิจนอกจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในทางธุรกิจแล้ว ยังเป็นทิศทางที่ทำให้นโยบายของรัฐที่มุ่งไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนมีความเป็นไปได้จริง ซึ่งเป็นเป้าหมายในระยะยาวโดยรวมของประเทศ ทั้งด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม สังคมและเป็นรูปแบบที่ตรวจวัดได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น WBCSD ได้กำหนดแนวทางที่เป็นปัจจัยแห่งความสำเร็จของการดำเนินงานด้านนิเวศเศรษฐกิจไว้ 7 ประการ คือ

1. ลดการใช้ทรัพยากร หรือวัตถุดิบ (วัสดุ) ในการผลิตและการบริการ
2. ลดการใช้พลังงานในการผลิตและการบริการ
3. ลดการปลดปล่อยสารพิษ
4. เสริมสร้างศักยภาพการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่
5. ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรที่หมุนเวียนได้
6. เพิ่มอายุของผลิตภัณฑ์
7. เพิ่มระดับการให้บริการแก่ผลิตภัณฑ์และเสริมสร้างธุรกิจบริการ

2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ในกลุ่มสินค้าส่งออกของไทย ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จัดเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ โดยในปี 2547 ไทยสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้ถึง 1.3 ล้านล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 24 ของผลผลิตมวลรวมของประเทศ (GDP) และมีแนวโน้มขยายตัวต่อเนื่องมาถึงปี 2550 ซึ่งมีมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้ถึง 1.58 ล้านล้านบาท โดยในกลุ่มผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ สินค้าที่ส่งออกได้มากเป็นอันดับหนึ่งคือ ส่วนประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสินค้ากลุ่มนี้มีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ สำหรับปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2550) ไทยสามารถส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ได้สูงถึง 551,030 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 10.51 ของการส่งออกโดยรวมของทั้งประเทศ (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2551; สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนอกจากเป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญต่อภาคการส่งออกของไทยแล้ว ไทยยังถูกจัดว่าเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่สำคัญของโลกอีกด้วย โดยในปี พ.ศ. 2547 ไทยสามารถส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้สูงถึง 483,000 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 12.3 ของการส่งออกโดยรวมของทั้งประเทศ การส่งออกทั้งหมดนี้ทำให้ไทยมีส่วนแบ่งในตลาด

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสูงเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากสิงคโปร์ หรือคิดเป็นส่วนแบ่งถึงร้อยละ 19.9 ของตลาดโลก ที่ผ่านมาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการขยายตัวของการผลิตเพิ่มโดยเฉลี่ยระหว่างปี 2544-2547 อยู่ที่ร้อยละ 27 อีกทั้งการผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะขยายตัวต่อไปอย่างน้อยในช่วงอีก 5 ปีข้างหน้าซึ่งเกิดขึ้นจากความต้องการของโลก (Global Demand) ที่ต้องการใช้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมากขึ้น แต่มูลค่าการส่งออกจะเพิ่มในอัตราการที่ลดลงเนื่องจากราคาของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จากการประมาณการณ์ในเบื้องต้น (โดยใช้ Linear Forecasting Model) พบว่าในปี 2553 อุตสาหกรรมนี้จะสามารถส่งออกได้ถึง 832,200 ล้านบาททั้งนี้เนื่องจากมีผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรายใหญ่ที่สุดของโลกถึง 4 บริษัทจาก 5 บริษัทในโลก คือ Fujitsu Hitachi Global Storage Technology (HGST) Western Digital (WD) และ Seagate ได้เข้ามาตั้งฐานการผลิตอยู่ในประเทศไทย โดยแสดงรายละเอียดการเข้ามาของผู้ประกอบการฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรายใหญ่ในประเทศไทยในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การเข้ามาของผู้ประกอบการฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรายใหญ่ในประเทศไทย

บริษัทผู้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	ปีที่เข้ามาลงทุนในประเทศไทย
Seagate	1983
Fujitsu	1994
Western Digital	2002
Hitachi Global Storage Technology	2003 (รวมกับ IBM)

ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 80 มีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ใช้ในประเทศ อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มสูงถึงร้อยละ 40 ของมูลค่าการผลิตทั้งหมด ซึ่งในปี 2547 อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศรษฐกิจของประเทศไทยถึง 180,000 ล้านบาทหรือคิดเป็นร้อยละ 3.2 ของมูลค่าผลผลิตรวมในประเทศ (GDP) (Hard Disk Disk Institute, 2551) โดยแสดงปริมาณการผลิต การส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไทยในตารางที่ 2.6 จากสถิติของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน หรือ BOI ระบุว่า ในปี 2546 ประเทศไทยมีบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจำนวน 31 ราย และมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาการเชื่อมโยงของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนและประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่เข้มแข็งขึ้นได้ในอนาคต ซึ่งการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟใช้ชิ้นส่วนหลัก 5 ประเภทคือ หัวอ่าน (Head) แผ่นวงจร (PCBA) มอเตอร์ (Motor) มีเดีย (Media) และ Base Cover โดยหัวอ่านเป็นชิ้นส่วนประกอบที่มีมูลค่าสูงที่สุด คือประมาณร้อยละ 37 ของต้นทุนวัตถุดิบและชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทั้งหมด

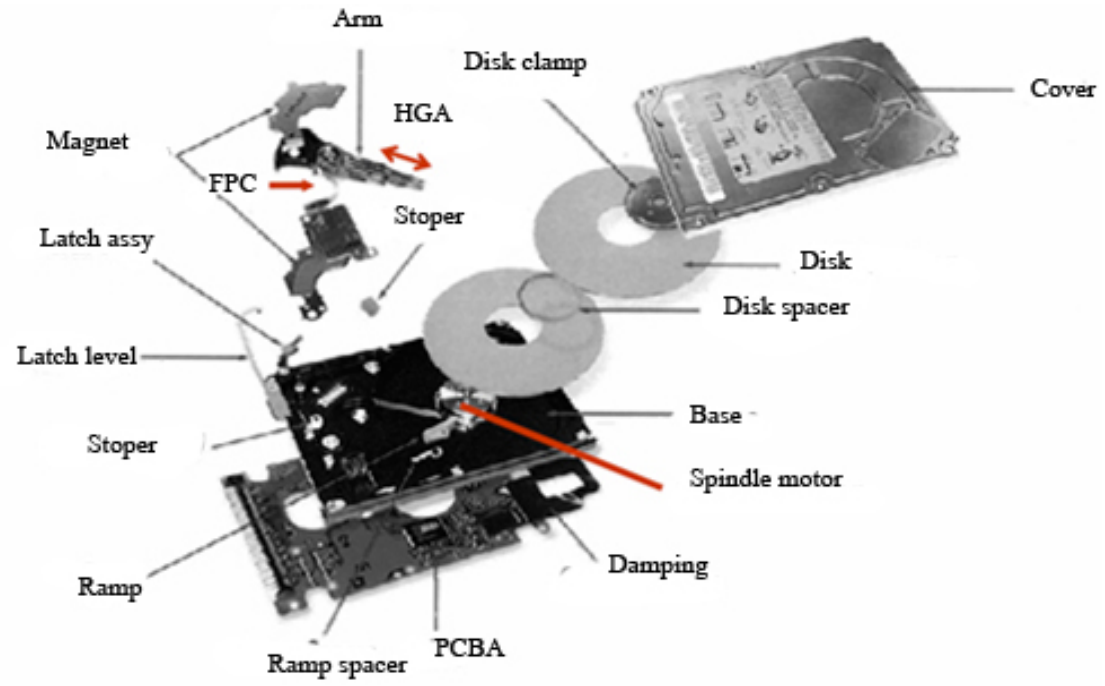
ขณะที่ PCBA มีสัดส่วนร้อยละ 25 มอเตอร์มีสัดส่วนร้อยละ 12 และจากชิ้นส่วนหลัก 5 ประเภท ดังกล่าวยังประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนย่อย ๆ อีกจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณการผลิต การส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไทย

	2546[ก]	2547[ก]	2548[ข]	2549[ข]	2550[ข]
ปริมาณการผลิต (ล้านชิ้น)	54.17	73.01	--	150.66	204.17
มูลค่าการส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบ (ล้านบาท)	280,000	483,000	461,901	552,183	551,030
มูลค่าการนำเข้าส่วนประกอบ (ล้านบาท)	n/a	280,000	204,713	216,064	217,400
ร้อยละมูลค่าการส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในการส่งออกรวมของไทย	n/a	33.9	10.40	11.18	10.51

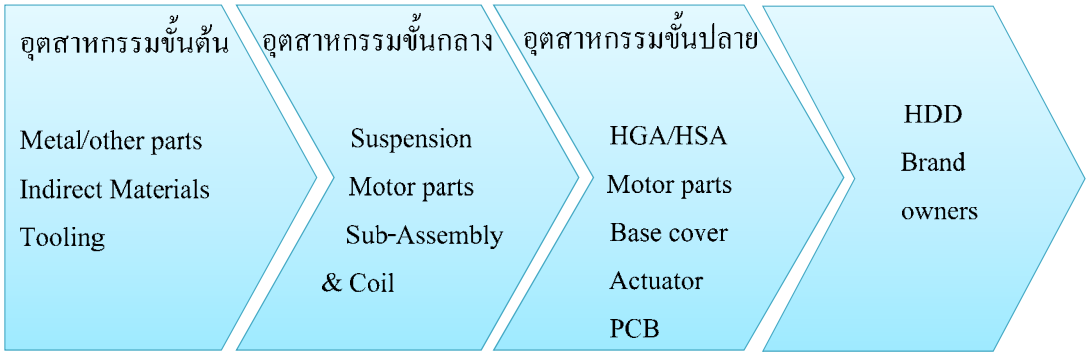
หมายเหตุ : [ก]ข้อมูลปริมาณการส่งออก ข้อมูลจากเว็บไซต์ HDDI

[ข]ข้อมูลปริมาณการผลิตส่งออก และนำเข้าส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ ข้อมูลจากเว็บไซต์ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนประเภท Direct Material ภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

โดยอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ในกลุ่มอุตสาหกรรมขั้นต้นประกอบด้วย Metal/Other Parts Indirect Materials และ Tooling ในกลุ่มขั้นกลางประกอบด้วยผู้ผลิต Suspension Motor Parts และ Sub-Assembly &Coil ในกลุ่มขั้นปลายหรือกลุ่ม Direct Material ประกอบด้วยผู้ผลิต HGA/HAS Motor Base/Cover Actuator PCBA และ Media โดยแสดงโครงสร้างอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในรูปที่ 2.7

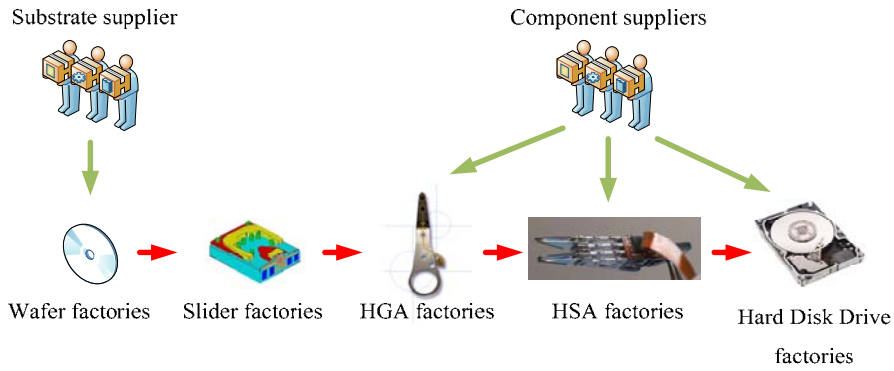


รูปที่ 2.7 โครงสร้างอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จะเห็นได้ว่ากลุ่มอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งประกอบด้วยบริษัทผู้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรายใหญ่ 4 บริษัทและบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอีกมากกว่า 30 รายเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้เป็นเงินตราต่างประเทศสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของไทย อีกทั้งยังเป็นกลุ่มที่มีสัดส่วนใหญ่ที่สุดในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ข้อมูลจากศูนย์วิจัยกสิกรไทย (กฤษกร เจียมจำรัสศิลปะ และคณะ, 2548) ปัจจุบันกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (EU) และญี่ปุ่น ได้นำเรื่องสิ่งแวดล้อมเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของการค้า ทำให้แนวโน้มของตลาดโลกเป็นไปในทิศทางของตลาดเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Market) กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (EU) ได้ออกมาตรการที่ไม่ใช่มาตรการทางภาษีอากร (Non-Tariff Barrier: NTB) เช่น ระเบียบว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE) และระเบียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS) ซึ่งระเบียบทั้งสองเป็นระเบียบข้อบังคับที่มีพื้นฐานอยู่บนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการลดปริมาณหรืองดการใช้สาร ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้สามารถเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการป้องกันการกีดกันทางการค้าและช่วยในการพัฒนาไปสู่พัฒนาที่ยั่งยืน

2.2.1 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

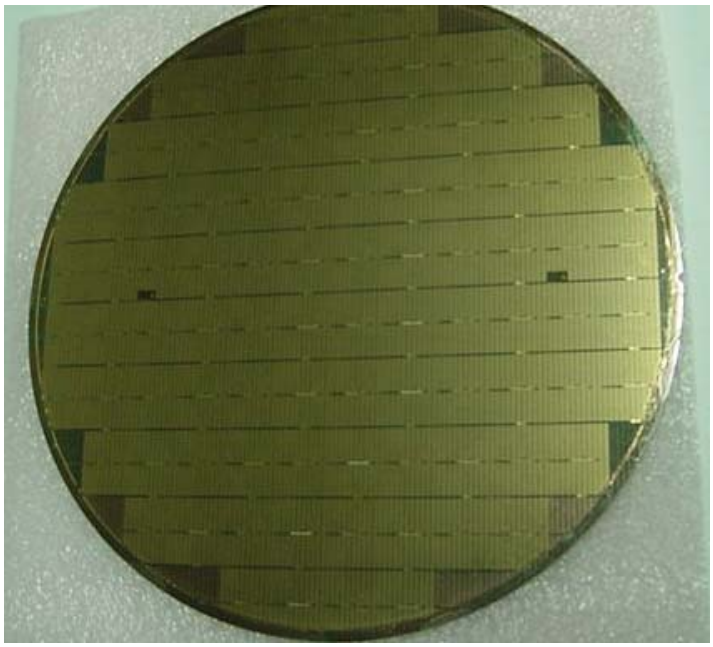
กระบวนการผลิตและประกอบจากวัตถุดิบถึงฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่สมบูรณ์ เริ่มจากการนำวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำแผ่นเวเฟอร์และผ่านขั้นตอนในการผลิต 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ได้แก่ 1 กระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ 2 กระบวนการผลิตหัวอ่าน 3 กระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่าน 4 กระบวนการผลิตชุดหัวอ่านและ 5 กระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

2.2.1.1 กระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Fabrication)

กระบวนการผลิตเริ่มจากการนำวัตถุดิบในการผลิตแผ่นเวเฟอร์ และผ่านกระบวนการซับซ้อนได้แก่ photo plating cleaning coating และ testing ซึ่งต้องใช้เวลาในการผลิตประมาณ 4-5 สัปดาห์ โดยต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ มากว่า 100 ขั้นตอนก่อนได้แผ่นเวเฟอร์ที่เสร็จสมบูณณ์ แผ่นเวเฟอร์หนึ่งชิ้นสามารถนำมาผลิตเป็นหัวอ่านเขียนได้มากกว่า 20,000 ชิ้น (Kumar and McCaffrey, 2003) กระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์จากวัสดุ Al_{2O3} ที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างและการสึกกร่อน ทำหน้าที่ในการเขียนข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการบันทึกลงบนจานข้อมูล (Media) และทำหน้าที่อ่านข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่บันทึกไว้กลับขึ้นมาเมื่อต้องการใช้งาน กระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์มีความสลับซับซ้อนและใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตทั้งหมดในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งได้แสดงรูปแผ่นเวเฟอร์ในรูปที่ 2.9 โดยกระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ในปัจจุบันจะมีจำนวนขั้นตอนการผลิตประมาณ 350 ขั้นตอน ประกอบด้วย 5 กระบวนการหลักต่อไปนี้ (จักรกฤช สุภาวสุทธิ์, 2548)



รูปที่ 2.9 แผ่นเวเฟอร์

(1) กระบวนการผลิตแผ่น Substrate

เป็นการผลิตชิ้นส่วนที่ใช้เป็นฐานในการปลูกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูล แผ่นเวเฟอร์นี้จะทำมาจากวัสดุ Al_{2O3} ที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างและการสึกกร่อนสูง

(2) กระบวนการผลิตอุปกรณ์อ่านข้อมูล (Reader Element)

เป็นการปลูกอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลที่ได้บันทึกไว้บนแผ่นบันทึกข้อมูล กระบวนการผลิตนี้จะใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ว่องไวต่อการตอบสนองของสนามแม่เหล็ก และเทคโนโลยีการผลิต Photolithography Vacuum Sputtering Thin film-Coating และ Wet Etching

(3) กระบวนการผลิตอุปกรณ์เขียนข้อมูล (Writer Element)

เป็นการปลูกอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเขียนข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลที่ประกอบด้วยกระบวนการปลูกวัสดุรองพื้นที่ทำด้วยวัสดุ Al_{2O3} และการปลูกอุปกรณ์สำหรับเขียนข้อมูลที่ทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าและเป็นฉนวนไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีการผลิต Photo Lithography Wet Plating และChemical- Mechanical Polishing

(4) กระบวนการผลิตแผ่นเชื่อมสัญญาณ (Bong Pad)

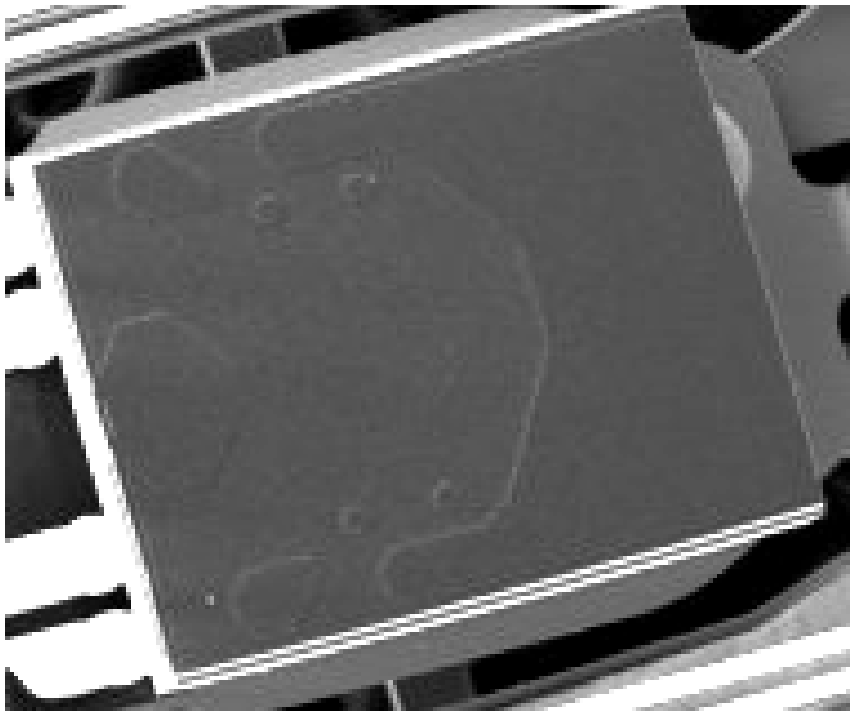
เป็นขั้นตอนที่ทำหน้าที่ปลูกแผ่นที่ใช้ในการต่อเชื่อมสัญญาณระหว่างอุปกรณ์อ่านและอุปกรณ์เขียนสัญญาณกับแผงวงจรของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยใช้วัสดุที่ทำจาก Al_{2O3} และ Au ด้วยเทคโนโลยีการผลิต Photolithography Wet Plating และ Wet Etching

(5) กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (Wafer Probe)

เป็นขั้นตอนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์อ่านและอุปกรณ์เขียนข้อมูลว่ามีคุณสมบัติทางไฟฟ้าตามที่ต้องการหรือไม่

2.2.1.2 กระบวนการผลิตหัวอ่านและเขียนข้อมูล (Slider Fabrication)

เป็นขั้นตอนการตัดแบ่งแผ่น Wafer ออกเป็น Bar ด้วยเครื่องจักรและตัดออกเป็นหัวอ่าน (Slider) โดยหัวอ่านนั้นจะเข้าสู่กระบวนการ Electrical testing Machining process และ Intensive inspection ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตประมาณ 4-5 วัน สามารถผลิตหัวอ่านได้ประมาณ 700,000 - 800,000 ชิ้นต่อวัน และส่งหัวอ่านที่เป็นวัตถุดิบของกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน (Kumar and McCaffrey, 2003) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยมีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญ 33 ขั้นตอน (จักรกฤช สุภาวสุทธิ์, 2548) ดังแสดงตารางที่ 2.7



รูปที่ 2.10 หัวอ่านและเขียนข้อมูล

ตารางที่ 2.7 ขั้นตอนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ขั้นตอน	วิธีการ
1. Wafer Loading	เจ้าหน้าที่ฝ่ายวางแผนการผลิตจะทำการระบุแผ่นเวเฟอร์ที่ต้องการผลิต กำหนดประเภทของผลิตภัณฑ์และกรรมวิธีการผลิตลงบน Process Traveler เช่น ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ Slider รุ่นอะไร มีข้อมูลทางเทคนิคในการผลิตอะไร จากนั้นจึงส่งมอบแผ่นเวเฟอร์พร้อมกับ Process Traveler ให้กับฝ่ายผลิต
2. Stripe Height Grinding	เป็นกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์ออกเป็นแผ่นบาง ๆ (Bar) โดยการเจียระไนขอบของแผ่นเวเฟอร์ตามระยะที่กำหนด แล้วทำการตัดแผ่นเวเฟอร์ออกเป็นชิ้นบาง ๆ เรียกว่า Bar ชิ้นที่ 1 จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการเจียระไนแผ่นเวเฟอร์สำหรับ Bar
3. Bar Divide	เป็นกระบวนการตัด Bar ที่มีความยาวแตกต่างกันให้มีความยาว 2 นิ้ว เท่า ๆ กันเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการออกแบบกระบวนการผลิตในขั้นตอนปลายน้ำ
4. Back Side Lapping	เป็นกระบวนการลดความเค้นผิวบน Bar ที่เกิดจาก กระบวนการเฉือนโดยการนำ Bar มาขัดบนจานขัดเพื่อทำให้ความเค้นตลอดทั้งผิว Bar มีค่าคงที่
5. Bar Annealing	เป็นกระบวนการให้ความร้อนกับ Bar เพื่อลดความเค้นภายใน Bar ให้อยู่ในระดับต่ำสุด
6. Bar Bonding	เป็นกระบวนการยึด Slider Bar เข้ากับ Row Tool แล้วทำการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง Bond Pad กับ Lapping System ด้วยเส้นลวดทองคำ เพื่อใช้ในการควบคุมการขัด
7. Electrical Lapping	เป็นกระบวนการขัดผิดหน้าของ Bar ด้วยเทคโนโลยีการขัดแบบ Close Loop Control เพื่อให้สไลเดอร์มีค่าทางไฟฟ้าและความเรียบของผิวงานตามที่ระบุไว้ในProcess Traveler
8. Cleaning and Debonding	เป็นกระบวนการถอด Bar ออกจาก Row tool โดยละลายกาวที่ยึด Bar
9. Pole Geometry Measurement	เป็นกระบวนการวัดขนาดของชุดอ่านสัญญาณแม่เหล็กว่ามีขนาดตามที่กำหนดไว้หรือไม่
10. Bar Bonding	เป็นการนำ Bar จำนวน 80 ชิ้นมายึดติดบนแผ่น Pallet ด้วยกาว
11. Relief Cut	เป็นกระบวนการเซาะร่องบน Bar ที่ยึดอยู่บน Pallet เพื่อทำให้ความเค้นบนผิวหน้าของ Bar มีค่าตามที่กำหนดไว้
12. Bar Debond and Cleaning	เป็นกระบวนการแยก Bar ออกจาก Pallet โดยการละลายกาวด้วยความร้อน แล้วนำ Bar มาทำความสำอาดด้วยกรรมวิธีทางเคมี
13. Kiss Lapping	เป็นกระบวนการขัดละเอียดขั้นสุดท้ายเพื่อให้ค่าทางไฟฟ้าของของอุปกรณ์อ่าน และค่าความเรียบ และค่าความขรุขระของผิว Bar

ตารางที่ 2.7 ขั้นตอนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (ต่อ)

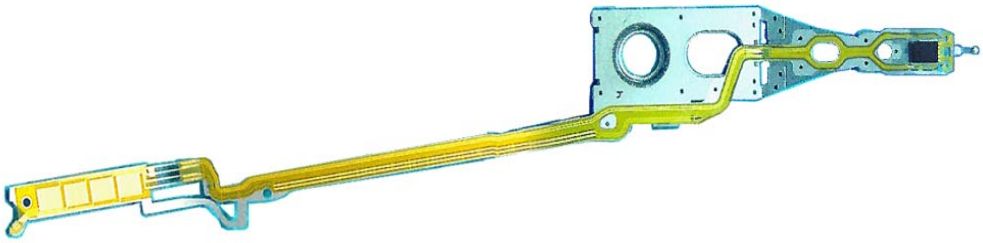
ขั้นตอน	วิธีการ
14. Diamond Like Coating	เป็นกระบวนการเคลือบผิวของ Bar ด้วยธาตุคาร์บอน โดยให้การเรียงตัวของโมเลกุลเป็นแบบ Tetrahedral เพื่อให้ผิวเคลือบมีความแข็งแรงคล้ายเพชร
15. Bar Encapsulation	เป็นกระบวนการนำ Bar จำนวน 40 ชิ้นมายึดเข้าด้วยกันบน Pallet ด้วยกรรมวิธี Encapsulation โดยให้ Bar ทั้งหมดวางอยู่ในระนาบเดียวกัน
16. Photolithography for DLC Pad	เป็นกระบวนการสร้างปุ่มบนผิวหน้า Slider เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้ผิว Slider สัมผัสกับผิวของแผ่นบันทึกข้อมูลในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟหยุดทำงาน โดยใช้เทคโนโลยีการผลิต Photolithography
17. DLC Pad Coating	เป็นกระบวนการสร้าง DLC pad ด้วยด้วยเทคโนโลยีการเคลือบผิวด้วย Carbon แบบ Chemical Vapor Deposition โดยทำการดึง Carbon Ion ออกจากก๊าซ Methane และ Ethelene แล้วเร่งความเร็วของ Carbon ion ให้ไปยึดติดบนผิว Bar
18. Photolithography for Shallow Etching	เป็นกระบวนการสร้างแบบที่จะทำการกัดผิวหน้า Slider ครั้งที่ 1 เพื่อทำให้ Slider ลอยตัวอยู่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูลในระดับความสูงที่คงที่ตลอดเวลา โดยใช้เทคโนโลยีการผลิต Photolithography
19. Shallow Etching	เป็นกระบวนการกัดผิวหน้าของ Slider ให้มีความลึกตามที่ระบุไว้ใน Process traveler ด้วยเทคโนโลยี RIE (Reactive Ion Etching)
20. Photolithography for Deep Etching	เป็นการสร้างแบบที่จะทำการกัดผิวหน้า Slider ครั้งที่ 2 เพื่อทำให้ Slider ลอยตัวอยู่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูลในระดับความสูงที่คงที่ตลอดเวลาโดยใช้เทคโนโลยี Photolithography
21. Deep Etching	เป็นกระบวนการกัดผิวหน้าของ Slider ให้มีความลึกตามที่ระบุไว้ใน Process Traveler ด้วยเทคโนโลยี RIE
22. Photolitho Graphy for Cavity Etching	เป็นกระบวนการสร้างแบบที่จะทำการกัดผิวหน้า Slider ครั้งที่ 3 เพื่อทำ Slider ลอยตัวอยู่เหนือแผ่นบันทึกข้อมูลในระดับความสูงที่คงที่ตลอดเวลาโดยใช้เทคโนโลยี Photolithography
23. Cavity Etching	เป็นกระบวนการกัดผิวหน้าของ Slider ให้มีความลึกตามที่ระบุไว้ใน Process traveler ด้วยเทคโนโลยี RIE
24. Debond	เป็นการแยก Bar ออกจาก Pallet โดยการละลายกาวที่ยึด Bar อยู่ด้วยกรรมวิธีทางเคมี
25. Cleaning	เป็นกระบวนการทำความสะอาด Bar ที่ผ่านกระบวนการ Debond แล้วให้ปราศจากคราบสกปรกต่าง ๆ
26. Row Bonding	เป็นกระบวนการนำ Bar จำนวน 40 ชิ้นมายึดติดกับ Head Parting Fixture ด้วยกาว

ตารางที่ 2.7 ขั้นตอนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (ต่อ)

ขั้นตอน	วิธีการ
27. Head Parting	เป็นกระบวนการตัด Bar ออกเป็นตัว Slider โดยใช้เทคโนโลยี Dicing
28. Slider Debond	เป็นกระบวนการแยก Slider ออกจาก Head Parting Fixture โดยการละลายกาวที่ยึด Slider ด้วยกรรมวิธีทางเคมี แล้วทำให้ Slider ที่หลุดออกมาวางเรียงตัวอยู่ในTray อย่างเป็นระเบียบ
29. Slider Sorting	เป็นกระบวนการแยก Slider ที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า
30. Quasi-Static Testing	เป็นกระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อ่าน และอุปกรณ์เขียน ว่ามีคุณสมบัติตรงตามที่กำหนดไว้หรือไม่ Slider ที่ผ่านการทดสอบจะถูกนำไปวางไว้ใน Chip Tray ใหม่ ในขณะที่ Slider ที่ไม่ผ่านการทดสอบจะถูกนำกลับมาวางไว้ใน Chip Tray เดิมเพื่อรอการทำลาย
31. Cleaning	เป็นกระบวนการทำความสะอาด Slider ที่อยู่ใน Chip Tray ด้วยกรรมวิธีทางเคมี
32. Visial Inspection	เป็นกระบวนการตรวจหาข้อบกพร่องที่เกิดบนตัว Slider อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต ด้วยกล้องขยายที่มีกำลังขยายขนาด 100 200 และ 500 เท่า Slider ที่มีข้อบกพร่องจะถูกแยกออกจาก Chip Tray เพื่อให้วิศวกรตรวจหาสาเหตุของข้อบกพร่องต่อไป
33. Finish Goods Store	เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต ที่จะส่ง Slider ไปยัง Finish Goods Store เพื่อรอการเบิกจ่ายไปยังหน่วยงานผลิต HGA ต่อไป

2.2.1.3 กระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านและเขียน

เป็นกระบวนการประกอบหัวอ่าน (Slider) บน flex ที่เป็นส่วนประกอบของ Suspension แล้วทำการต่อเชื่อมสายสัญญาณของ Flex circuit เข้ากับ slider ด้วยกาวและการเชื่อมด้วยทอง เมื่อทำการประกอบชิ้นงานเสร็จ จะเข้าสู่กระบวนการทดสอบ fly test electric test และเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงาน ตรวจสอบชิ้นงาน โดยใช้เวลาในการผลิตประมาณ 2 วัน (Kumar and McCaffrey, 2003) โดยแสดงรูป Head Gimbal Assembly ในรูปที่ 2.9 ซึ่งกระบวนการผลิต HGA จะมีขั้นตอนการผลิต 12 ขั้นตอน (จักรกฤช สุภาวสุทธิ์, 2548) ดังแสดงในตารางที่ 2.11



รูปที่ 2.11 Head Gimbal Assembly

ตารางที่ 2.8 ขั้นตอนกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน

ขั้นตอน	วิธีการ
1. Slider Bonding	เป็นกระบวนการทำหน้าที่ในการประกอบ Slider เข้ากับ Suspension ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ แล้วทำการติดยึดด้วยกาว Epoxy โดยใช้เครื่องประกอบที่มีการทำงานโดยอัตโนมัติ
2. PSA/RSA Measurement	เป็นกระบวนการวัดค่า Pitch Static และ Roll Static ของผิวหน้า Slider ว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ HGA ที่มีค่า PSA และ RSA ไม่อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการจะถือว่าเป็นของเสียและจะถูกกำจัดออกจากกระบวนการผลิต
3. IR Curing	เป็นกระบวนการให้ความร้อนกับ HGA เพื่อทำให้กาว Epoxy ที่ยึด Slider และ Suspension เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งอย่างสมบูรณ์
4. Gold Ball Bond	เป็นกระบวนการที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อสายสัญญาณจาก Flex Circuit เข้ากับ Bond Pad ของอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูลของ Slider ด้วยเทคโนโลยี Ultrasonic Bonding
5. Low Power Inspection	เป็นกระบวนการตรวจ HGA ด้วยกล้องที่มีกำลังขยาย 30 ถึง 50 เท่าว่ามีคุณลักษณะเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ HGA ที่มีข้อบกพร่องจะถูกแยกออกมาเพื่อรอการกำจัดต่อไป
6. High Power Inspection	เป็นกระบวนการตรวจ HGA ด้วยกล้องที่มีกำลังขยาย 100 ถึง 500 เท่าว่าคุณลักษณะตามที่กำหนดไว้หรือไม่ HGA ที่พบว่ามีข้อบกพร่องจะถูกแยกออกเพื่อรอการกำจัดต่อไป
7. Gram Load Measurement	เป็นกระบวนการวัดค่าแรงกดของ HGA ว่ามีค่าอยู่ในค่าที่กำหนดหรือไม่
8. Mag Test	เป็นการวัดประสิทธิภาพของชุด Reader และWriter ว่ามีคุณสมบัติที่กำหนดไว้หรือไม่ HGA ที่ไม่ผ่านการทดสอบจะถูกแยกออกจาก HGA ที่ผ่านการทดสอบเพื่อรอการทำลายต่อไป

ตารางที่ 2.8 ขั้นตอนกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน (ต่อ)

ขั้นตอน	วิธีการ
9. High Power Inspection	เป็นการตรวจหาข้อบกพร่องของตัว HGA โดยใช้กล้องขยายที่มีกำลังขยาย 100, 200 และ 500 เท่า
10. QA Audit	เป็นการสุ่มตรวจ HGA ว่ามีสมรรถนะตรงตามที่ระบุไว้ใน Process Traveler
11. High Power Inspection	เป็นกระบวนการตรวจหาข้อบกพร่องทางกายภาพที่เกิดกับ HGA ด้วยกล้องขยายที่มีกำลังขยาย 100 ถึง 500 เท่า
12. Packing HGA	เป็นกระบวนการบรรจุ HGA ลงในหีบห่อแล้วนำไปเก็บไว้ที่คลังสินค้าเพื่อรอการจัดส่งต่อไป

2.2.1.4 กระบวนการผลิตชุดหัวอ่านและเขียน

ชุดหัวอ่านและเขียนข้อมูลสำเร็จของคอมพิวเตอร์ เป็นการนำเอา HGA หลาย ๆ ตัวมาประกอบกันโดยใช้ชิ้นส่วนอื่น ๆ เป็นส่วนช่วยประกอบให้ HGA หรือ Head เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ จึงเรียกว่า Head Stack Assembly และนำไปติดกับสายแผ่นวงจรบางอีกครั้งหนึ่งก่อนทำการทดสอบและตรวจสอบ ซึ่งใช้เวลาในการผลิตประมาณ 2 วัน (Kumar and McCaffrey, 2003) โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปแล้วจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำให้เกิดช่วงสัญญาณบวกและลบนี้จะเป็นข้อมูลทางดิจิตอลเก็บลงบนแผ่น Disc โดยได้แสดงรูป Head Stack Assembly ในรูปที่ 2.12 ซึ่งกระบวนการผลิต HSA มีขั้นตอนการผลิต 7 ขั้นตอน (จักรกฤช สุภาวสุทธิ์, 2548)

รูปที่ 2.12 Head Stack Assembly

1. Swaging

เป็นกระบวนการประกอบ HGA เข้ากับ E-Block ด้วยเทคโนโลยี Swaging ซึ่งใช้กรรมวิธีในการดัน Stainless Steel Ball ผ่าน Swage Hole บน HGA ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า Stainless Steel Ball ทำให้พื้นที่รอบๆ Swage Hole เกิดการขยายตัวออกไปยึดติดกับผิวของ APFA

2. Ultrasonic Bonding

เป็นกระบวนการเชื่อมสายสัญญาณไฟฟ้าระหว่าง HGA กับ Flex บนตัว APFA โดยใช้เทคโนโลยีการเชื่อมอัลตราโซนิค

3. Conformal Coating

เป็นกระบวนการเคลือบจุดเชื่อมสัญญาณด้วยกาวเคลือบผิวเพื่อป้องกันความเสียหายและการสึกกร่อนที่อาจจะเกิดกับจุดเชื่อมต่อ

4. Visual Inspection

เป็นกระบวนการตรวจหาข้อบกพร่องทางกายภาพที่เกิดบน HSA โดยใช้กล้องขยายที่มีกำลังขยาย 30 และ 50 เท่า

5. Electrical Test

เป็นกระบวนการตรวจวัดสมรรถนะทางไฟฟ้าของ HSA

6. Quality Assurance

เป็นกระบวนการสุ่มตรวจคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่ามีคุณภาพตรงตามที่กำหนดไว้ทั้งทางกายภาพและทางไฟฟ้า

7. Packing

เป็นกระบวนการบรรจุ HSA ลงหีบห่อแล้วนำไปเก็บไว้ในคลังสินค้าเพื่อรอการจัดส่งไปยังโรงงานผลิต HDD ต่อไป

2.2.1.5 กระบวนการประกอบผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard Disk Drive)

เป็นการนำเอา HSA มาประกอบในกล่อง Hard Disk Drive พร้อมกับประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้วจึงทำการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยใช้เวลาประมาณ 1 วัน ก่อนส่งขายแก่ลูกค้า (Kumar and McCaffrey, 2003) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบนั้นประกอบด้วย แผ่นวงจร (PCBA) มอเตอร์ (Motor) แผ่นบันทึกข้อมูล (Media) และ Base Cover ซึ่งได้แสดงรูป Hard Disk Drive ในรูปที่ 2.13 ซึ่งกระบวนการผลิต HDD จะมีขั้นตอนการผลิต 17 ขั้นตอน (จักรกฤช สุภาวสุทธิ์, 2548) ดังแสดงในตารางที่ 2.9

รูปที่ 2.13 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ตารางที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการประกอบผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ขั้นตอน	วิธีการ
1. Motor to Base	เป็นกระบวนการประกอบมอเตอร์ที่ใช้สำหรับหมุนแผ่นบันทึกข้อมูลเข้ากับตัว Base Casting
2. Disk Install	เป็นกระบวนการประกอบแผ่นบันทึกข้อมูลเข้ากับมอเตอร์ โดยที่จำนวนของแผ่นบันทึกข้อมูลจะมีจำนวนตั้งแต่ 1 แผ่นไปจนถึง 3 แผ่น ตามขนาดความจุของผลิตภัณฑ์ HDD ที่ต้องการผลิต
3. Disk balance	เป็นกระบวนการสร้างสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลที่ได้ประกอบเข้ากับ Base Casting
4. Wire balance	เป็นกระบวนการสร้างสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลในขั้นสุดท้ายโดยใช้เครื่องวัดทางอิเล็กทรอนิกส์
5. Suppressor comb install	เป็นกระบวนการติดตั้งชุดบังคับทิศทางลมที่เกิดจากการหมุนของแผ่นบันทึกข้อมูลให้เป็นการไหลแบบเรียบทำให้การลอยตัวของสไลเดอร์ เหนือแผ่นบันทึกข้อมูลมีค่าคงที่มากที่สุด
6. HSA and VCM Install	เป็นกระบวนการประกอบ HSA และ Voice Coil Magnet เข้ากับ Base Casting
7. FCC Install	เป็นกระบวนการติดตั้ง Flex Circuit Connector ของ HSA ลงบน Base Casting
8. Head Merge	เป็นกระบวนการถอด Finger Comb ที่ทำหน้าที่แยก Slider ที่อยู่ใน HSA ออกแล้วให้ตัวสไลเดอร์เลื่อนลงมาสัมผัสกับแผ่นบันทึกข้อมูลอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดบนแผ่นบันทึกข้อมูล หรือสไลเดอร์

ตารางที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการประกอบผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (ต่อ)

ขั้นตอน	วิธีการ
9. Cover Install	เป็นกระบวนการปิดฝาปิดด้านบนของ HDD เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกและความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายใน HDD
10. Servo Write	เป็นกระบวนการเขียน Pattern เพื่อระบุตำแหน่งของการเขียนและการอ่าน
11. Seal Install	เป็นกระบวนการปิดช่องว่างบน Base Casting ที่ใช้สำหรับการเขียน Servo Write โดยใช้แผ่นสติกเกอร์อลูมิเนียม
12. Leak Test	เป็นกระบวนการทดสอบหารอยรั่วที่อาจจะเกิดขึ้นตามรอยต่อ บนฝาปิด หรือรอยรั่วที่อาจจะเกิดขึ้นตามรูที่ใช้ยึดชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ เข้ากับตัว Base Castingการรั่วที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานในระยะยาวของ HDD เพราะฝุ่นละอองจะสามารถเล็ดลอดเข้าไปภายใน HDD และสร้างความเสียหายให้กับแผ่นบันทึกข้อมูลหรือสไลเดอร์ได้
13. PCBA Install	เป็นกระบวนการติดตั้งแผ่นควบคุมการทำงานของ HDD ลงบน Base Casting
14. SPT	เป็นกระบวนการเขียนข้อมูลแล้วอ่านสัญญาณที่ได้เขียนไว้ว่ามีปัญหาหรือไม่ กระบวนการนี้เป็นการทดสอบ HDD เสมือนการใช้งานจริง
15. DCM Scan	เป็นกระบวนการติดป้ายบอกรายละเอียดทั้งหมดของ HDD นั้นว่าเป็นรุ่นอะไร ใช้ชิ้นส่วนอะไรในการประกอบ ผ่านการทดสอบเมื่อใด
16. Label Install	เป็นกระบวนการติดป้าย Serial number ลงบน HDD
17. VMI	เป็นกระบวนการตรวจสอบสภาพของ HDD ว่ามีคุณลักษณะตามที่กำหนดหรือไม่มีความเสียหายทางกายภาพหรือไม่

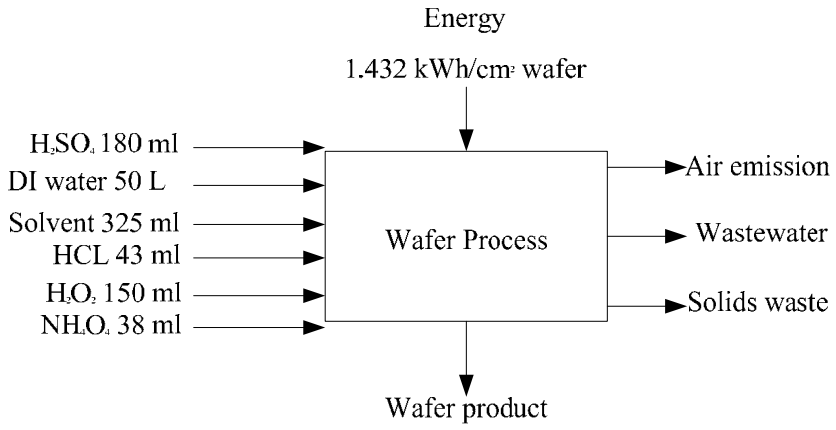
2.2.2 ทรัยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ต้องผ่านขั้นตอนกระบวนการผลิต 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ Wafer Slider HGA HSA และ HDD ซึ่งในขั้นตอนการผลิตมีความซับซ้อน เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและใช้สารเคมีหลายชนิดในกระบวนการผลิต อีกทั้งมีการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และน้ำด้วย

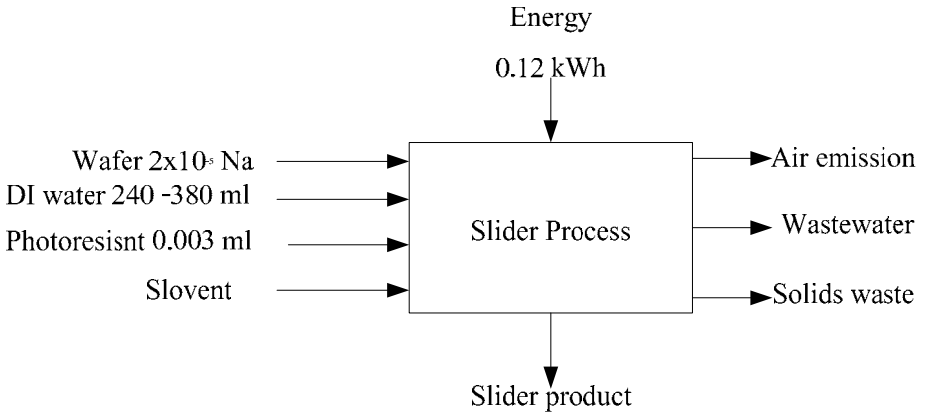
โดยในกระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์มีการใช้อลูมิเนียมเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิต (Kumar and McCaffrey, 2003) และมีการใช้น้ำ 1,550 m^3/day เพื่อผลิตน้ำ Deionized (DI) ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งในการผลิตมีการใช้สารเคมีและวัตถุดิบได้แก่ Slurry ในการขัดตัวชิ้นงาน และสารประกอบ Light soap ในการล้างตัวชิ้นงาน (ShuHai, DyiHwa, and GiaLuen, 2000; Mendez, Jodar, DIaz, and Gonzalez, 2008) ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณวัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อแผ่นเวเฟอร์มีการใช้น้ำ DI 50 L/wafer solvent 325 ml/wafer H_2SO_4 180 ml/wafer HCL 43 ml/wafer H_2O_2 150 ml/wafer และ NH_4O_4 38 ml/wafer (Murphy,

Laurent, and Allen, 2003) รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต โดยในการผลิตแผ่นเวเฟอร์นั้นจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 1.432 kWh/cm^2 wafer (Ho S.-C and Chuah, 2000) โดยแสดง Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ในรูปที่ 2.14

เมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ แผ่นเวเฟอร์นั้นจะเป็นวัตถุดิบในการผลิตหัวอ่านเขียน ซึ่งเป็นขั้นตอนการสร้างพื้นผิวตามการออกแบบซึ่งวัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ ได้แก่ Photoresist DI water Solvent (Percin and Khuri-Yakub, 2003; Conga et al., 2005) โดยเมื่อเทียบปริมาณการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรต่อผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนมีการใช้ Wafer $2x10^{-5}$ Na/Slider น้ำ DI 240 -380 ml/Slider Photoresist 0.003 ml/Slider และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 0.12 kWh/Slider โดยแสดง Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนในรูปที่ 2.15

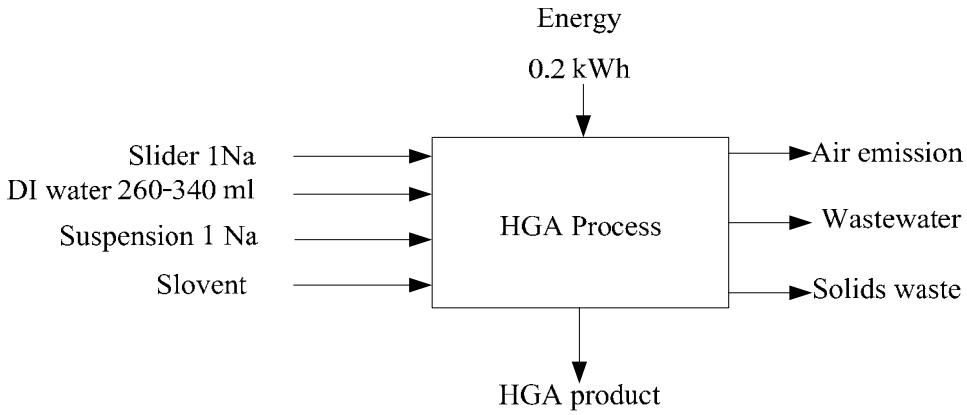


รูปที่ 2.14 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์



รูปที่ 2.15 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน

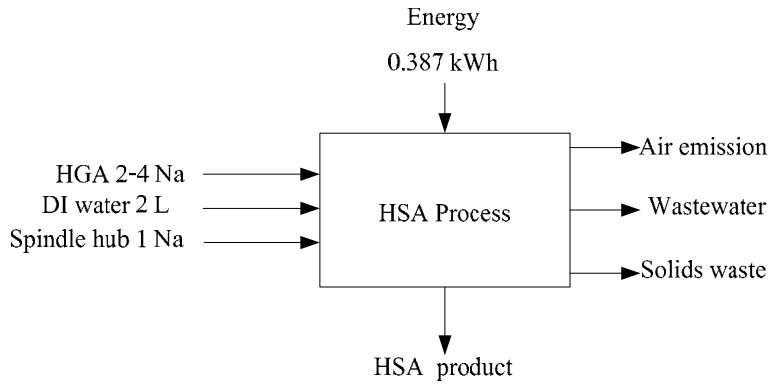
สำหรับขั้นตอนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน ใช้วัตถุดิบหลักคือ Slider Suspension และ PCBA ซึ่งในขั้นตอนการผลิตมีลักษณะเป็นการประกอบ ซึ่งข้อมูลจากการศึกษาประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมฮาร์ดิสไดร์ฟในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนและชุดประกอบหัวอ่านเขียน มีการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ได้แก่ Slider 1 Na/HGA Suspension 1 Na/HGA Solvent 13 ml/HGA น้ำ DI 260-340 ml/HGA และพลังงานไฟฟ้า 0.2 kWh/HGA โดยแสดง Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียนในรูปที่ 2.16



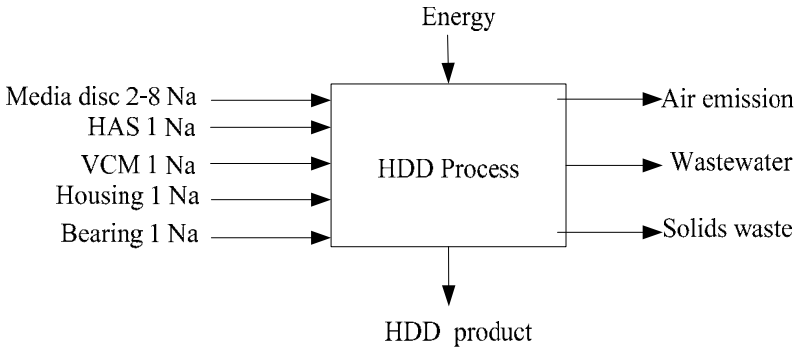
รูปที่ 2.16 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านเขียน

เมื่อชุดประกอบหัวอ่านเขียนสำเร็จ (HGA) จะถูกนำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียน (HSA) โดยปริมาณขึ้นอยู่กับการออกแบบทางผลิตภัณฑ์จาก Sugaya (2006) มีการใช้ HGA 2-8 Na/HSA และมี Spindle hub เป็นวัสดุในการประกอบ เมื่อทำการประกอบ HSA เสร็จสมบูรณ์แล้วจะทำการล้างชิ้นงานด้วย DI water ก่อนบรรจุส่งต่อกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งในกระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.387 kWh/HSA น้ำ DI 2 L/HSA โดยแสดง Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียนในรูปที่ 2.17

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ชุดประกอบมอเตอร์ (Voice Coil Motor) แผ่นบันทึกข้อมูล (Media disc) ชุดหัวอ่านเขียน (HSA) bearing และHousing ซึ่งวัสดุทำจาก Aluminum และ stainless steel (Wood, 2008) ซึ่งได้ทำการแสดงรูป Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียน



รูปที่ 2.18 Flow in/Flow out ของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

2.3 เกณฑ์มาตรฐานและปัญหาสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการส่งออกและจำหน่ายในประเทศ โดยเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ได้แก่ ระเบียบเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE) ระเบียบการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical and electronic equipment: RoHS) และระเบียบว่าด้วยกรอบข้อกำหนดการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลังงาน (Energy using Product: EuP) เนื่องจากการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปยังสหภาพยุโรป (European Union: EU) มีระเบียบและข้อกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่จะจำหน่ายในสหภาพยุโรป ซึ่งระเบียบต่าง ๆ ได้เริ่มบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 13 สิงหาคม 2548 1 กรกฎาคม 2549 และ 26 กรกฎาคม 2548 ตามลำดับ (ThaiRoHs, 2551) โดยระเบียบ EuP จะแตกต่างจากระเบียบ WEEE RoHS ระเบียบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ วางกรอบในการออกข้อกำหนดการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Ecodesign) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลังงานให้เป็นในทิศทางเดียวกันทั่วสหภาพยุโรป เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์รักษ์สิ่งแวดล้อม (Ecoproducts) และสามารถวางตลาดได้อย่างเสรีทั่วสหภาพยุโรป และเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม และเพิ่มความมั่นคงในแหล่งพลังงานไปพร้อมกันอีกทั้งระเบียบ EuP ได้นำแนวคิดและกลไกการวางนโยบายในรูปแบบใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิผลและก่อให้เกิด Synergy ในกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมอื่นที่เกี่ยวข้องกัน เช่น ระเบียบ WEEE RoHS ระเบียบที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องใช้ เช่น ระเบียบการติดป้ายพลังงาน (Energy Labeling Directive) และใช้มาตรการ/กลไกระดับสหภาพที่ได้เคยมีการวางรากฐานไว้ในอดีตเป็นเครื่องมือ เช่น ระเบียบการประเมินการเป็นไปตามข้อกำหนดและกฎการติดเครื่องหมาย CE การขึ้นทะเบียนในระบบบริหารสิ่งแวดล้อม (EMAS) ระบบฉลากสิ่งแวดล้อม (Eco-label) และการกำหนดมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับร่วมกัน (Harmonized Standards)

จากความสำคัญของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในประเทศไทย ที่ถือเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ แต่ด้วยกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีขั้นตอนมากกว่า 100 ขั้นตอน และมีความซับซ้อนในการผลิตแต่ละขั้นตอน ที่มีการใช้วัตถุดิบ สารเคมี พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต พร้อมทั้งเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตในรูป น้ำเสีย กากของเสียอันตราย มลพิษอากาศ โดยปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เน้นการแก้ไขปัญหามลพิษด้วยระบบบำบัดมลพิษ ซึ่งเป็นการแก้ไขที่ปลายเหตุ จึงมีความจำเป็นในการแก้ไขที่ต้นเหตุและไม่มองเพียงมลพิษที่เกิดขึ้น แต่รวมไปถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากร กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมถึง การจัดการซากสินค้า

หลังอายุการใช้งาน การนำชิ้นส่วนและวัสดุกลับมาใช้ใหม่ โดยการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจจัดเป็นเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาที่ให้ความสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กับทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.4 การประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ในปัจจุบันมีหน่วยงานมากมายที่ให้ความสนใจในเรื่องของการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยที่หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่ทำการเผยแพร่ให้ความรู้เรื่องนี้ก็มีอยู่ไม่น้อย รวมถึงสถาบันการศึกษาอีกด้วย ประกอบกับแรงผลักดันที่เกิดจากกฎระเบียบและแนวทางการปฏิบัติของสหภาพยุโรปและญี่ปุ่น ทำให้ผู้ผลิตหลายรายในประเทศไทย หันมาใส่ใจในเรื่องการออกแบบของผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ความต้องการของผู้บริโภคจะกระตุ้นให้ผู้ผลิตหันมาใส่ใจผลิตภัณฑ์ที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำแนวคิดเรื่องการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ การวิเคราะห์คุณภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle analysis: LCA) รวมถึงการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System: EMS) (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) โดยจากการศึกษาเกี่ยวกับระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ พบว่าระหว่างกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีโอกาสสูงที่จะเปลี่ยนแปลงการออกแบบเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Ammenberg and Sundin, 2005) ซึ่งในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทำได้โดยการใช้เครื่องมือระบบการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology: CT) และการอนุรักษ์ทรัพยากร (Gurauskiene and Varzinskas, 2006) ประโยชน์ที่ผู้ผลิตจะได้รับจากการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจคือการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ปรับปรุงการดำเนินงานขององค์การให้มีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการผลิต สร้างมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์ และสร้างภาพพจน์ที่ดีแก่องค์การในด้านความรับผิดชอบต่อสังคม

วารุณี มุสิกชาติ (2548) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินหากระบวนการที่เหมาะสม ในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ชนิดผนังหลายชั้น (MWNTs) ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Chemical Vapor Deposition (CVD) โดยการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การประเมินความเสี่ยงและการพิจารณาต้นทุนการผลิต ได้ประเมินกระบวนการ 3 แบบ ที่มีการใช้สารเคมีตั้งต้นและคะตะลิสต์ที่ต่างกัน คือ การสังเคราะห์ MWNTs โดยใช้อีเทนและเหล็กบนอะลูมินา อะเซทิลีนและเหล็กกับโคบอลต์บนแคลเซียมคาร์บอเนต และอะเซทิลีนและโคบอลต์กับโมลิบดีนัมบนแมกนีเซียมออกไซด์ พบว่า การสังเคราะห์ MWNTs โดยใช้อีเทนเป็นสารตั้งต้นและใช้เหล็กบนอะลูมินาเป็นคะตะลิสต์ มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด เป็นกระบวนการที่มีความเสี่ยงน้อยที่สุด เนื่องจากเกิด FeCI และ KAL(OH) ที่เป็นอันตรายน้อยกว่าอีก

2 กระบวนการ อีกทั้งกระบวนการนี้ยังมีค่าใช้จ่ายจากต้นทุนของสารเคมีต่ำที่สุดอีกด้วย ดังนั้น กระบวนการสังเคราะห์ MWNTs โดยใช้อีเทนเป็นสารตั้งต้นและใช้เหล็กบนอะลูมินาเป็นคะตะลิสต์ จึงเป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมในการขยายสู่ระดับอุตสาหกรรมมากที่สุด กระบวนการนี้สามารถสังเคราะห์ MWNTs ได้ 20 กรัมต่อกรัมของคะตะลิสต์ต่อชั่วโมง MWNTs มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 นาโนเมตร ความบริสุทธิ์ 95-98%

ปริญญ์ บุญกนิษฐ อรรถกร เก่งพล และ อรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์ (2549) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ด้วยการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมผลิตบัลลาสอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการปรับปรุง 2 ชิ้นส่วนหลัก คือ ชิ้นส่วนโครงสร้างผลิตภัณฑ์ (Housing) ที่ผลิตจากพลาสติก (Poly carbonate) และหม้อแปลง (Choke) บนแผ่นอุปกรณ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยผลการวิเคราะห์ก่อนทำการปรับปรุงด้วยวิธี Eco indicator 99 แบบ Single score มีค่าระดับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ 55.3 mPt และหลังทำการปรับปรุงโดยทำการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนโครงสร้างผลิตภัณฑ์เป็นอลูมิเนียม (Aluminium Recycle) และปรับปรุงการออกแบบหม้อแปลงด้วยการ Chamfer Core Choke พบว่ามีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลงจากเดิมเหลือ 30.9 mPt ซึ่งช่วยในการสร้างภาพลักษณ์และผลกำไรให้กับอุตสาหกรรมผลิตบัลลาสอิเล็กทรอนิกส์

ก่อเกียรติ เกิดปากแพรก และ กิติกร จามรดุสิต (2551) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของกลุ่มปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง เริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ภายในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดโดยใช้แผนภาพการไหลของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวชี้วัดด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ ปริมาณยอดขายรวม และกำไรขั้นต้น ตัวชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณพลังงานที่ใช้ ปริมาณการใช้น้ำ และปริมาณกากของเสียอันตราย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546-2548 เพื่อนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ตามหลักการประเมินของ The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงลำดับความสัมพันธ์ของบริษัทที่อยู่ภายในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมีในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตั้งแต่ขั้นต้น ขั้นกลาง จนกระทั่งถึงขั้นปลาย ซึ่งกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย มีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจด้านวัตถุดิบ การใช้น้ำ และกากของเสียอันตรายที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น และมีแนวโน้มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในภาพรวมของกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ไปในทิศทางเดียวกันคือขยับจาก Half Eco-efficiency ในปี พ.ศ. 2547 เข้าสู่ Fully Eco-efficiency ในปี พ.ศ. 2548

เสกสรร พาป้อง และคณะ (2551) ทำการศึกษาการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้หลักการการประเมินวงจรชีวิต (LCA) ควบคู่กับเทคนิค

การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยการศึกษาครอบคลุมถึงวัตถุดิบ ชิ้นส่วน การประกอบ การใช้งาน ซึ่งพบว่าการใช้งานเป็นช่วงที่ส่งผลกระทบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 95% ของผลกระทบทั้งหมด ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ทำการติดตั้งอุปกรณ์ลดความดัน เพื่อดความดันของน้ำยาที่เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ และระบบพ่นละอองน้ำลงบนคอยล์ร้อน ช่วยทำให้การใช้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 27 และยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุการใช้งาน จาก 36,500 kg-CO_2-eq เป็น 26,700 kg-CO_2-eq

จุฑารัตน์ ซื่อสัตย์ (2552) ได้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเตาอบไมโครเวฟ 3 เครื่อง โดยอาศัยหลักการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยทำการแยกชิ้นส่วนและประเภทวัสดุของเตาอบไมโครเวฟพร้อมทั้งทำแบบสอบถามความต้องการของลูกค้าเพื่อแปลงหน้าที่คุณภาพด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งพบว่าเตาไมโครเวฟที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.40557 Pt และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.105205 Pt แต่ผลกระทบทางด้านสุขภาพของเตาอบไมโครเวฟทั้ง 3 เครื่องมีค่าใกล้เคียงกัน และผลจากแบบสอบถามความต้องการของลูกค้าทางด้านสิ่งแวดล้อมพบว่าความต้องการที่ลูกค้าคำนึงถึงเป็นอันดับแรก ๆ คือ การประหยัดพลังงานไฟฟ้า ไม่มีการใช้สารอันตรายในเตาอบไมโครเวฟ มีความสะดวกสบายในการใช้งาน และแข็งแรงทนทานสามารถใช้งานได้นาน เมื่อนำผลจากแบบสอบถามความต้องการของลูกค้าด้านสิ่งแวดล้อมแปลงหน้าที่คุณภาพด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าควรมีการให้ความสำคัญในการเลือกใช้วัสดุผลิตเตาไมโครเวฟ เทคโนโลยีในการผลิต วัสดุที่ก่อให้เกิดอันตราย และฟังก์ชันการใช้งาน

โดย Heejeong and Christoph (2003) ได้ทำการศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจไดร์เป่าผม ด้วยการรวบรวมข้อมูลเสียงของลูกค้ามาจัดแบ่งในหัวข้อต่าง ๆ และนำความต้องการของลูกค้ามาทำวิธีแปลงหน้าที่คุณภาพทางสิ่งแวดล้อม (QFDE) แล้วคำนวณระดับความสัมพันธ์ ทำให้สามารถรู้ถึงชิ้นส่วนของไดร์เป่าผมที่ควรได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและแนวทางการปรับปรุงชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยแสดงตารางแนวทางการปรับปรุงชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในตารางที่ 2.10

Keijiro, Tomohiko, Mitsuru, and Atsushi (2003) ได้ทำการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพทางสิ่งแวดล้อมในการออกแบบผลิตภัณฑ์ไดร์ฟเป่าผม โดยใช้ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมและคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาช่วยในการพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่ามอเตอร์และโครงสร้างไดร์ฟเป่าผม (housing) มีคะแนนสูงที่สุดตามลำดับ จึงควรมีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ลดลง โดยควรมีการวิเคราะห์ผลกระทบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมด้วย

Byung-Chul, Hang-Sik, Su-Yol, and Tak (2006) ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวงจรชีวิตของคอมพิวเตอร์ ซึ่งพบว่าในช่วงก่อนกระบวนการผลิตคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วย

ขั้นตอนของการผลิตชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบคอมพิวเตอร์ ได้แก่ Mainboar Case Drivers Cards และ Packaging เป็นช่วงที่มีผลกระทบมากที่สุดของผลกระทบทั้งหมดในการผลิตคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถทำการแก้ไขให้ผลกระทบที่น้อยลงได้ด้วยการออกแบบให้ลดขนาดของผลิตภัณฑ์และลดการใช้สารอันตรายในกระบวนการผลิตและการเลือกใช้วัตถุดิบ

ตารางที่ 2.10 แนวทางการปรับปรุงชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ส่วนประกอบหลัก	แนวทาง Eco-design	แนวทางด้านการตลาด
โครงสร้างหลักไดร์เป่าผม	ทำจากไม้และการออกแบบรูปแบบให้มีความเหมาะสม สะดวก ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ	การออกแบบของไม้ต้องมีรูปแบบที่ดี แข็งแรงทนทานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
สวิตซ์ไฟ	ทำจากไม้และการออกแบบรูปแบบให้มีความเหมะสม สะดวก ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ควรมีสวิตซ์ที่ปรับได้หลายระดับในปุ่มเดียว	การออกแบบของไม้ต้องมีรูปแบบที่ดี แข็งแรงทนทานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ควรมีสวิตซ์ที่ปรับได้หลายระดับในปุ่มเดียว และสามารถปรับสวิตซ์ได้ด้วยมือเดียว
สายไฟ	ไม่มีสายไฟ ใช้ระบบชาร์จไฟได้	สะดวกในการใช้งานทุกสถานที่และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
มอเตอร์	น้ำหนักเบา มีประสิทธิภาพและเสียงเบา	มีประสิทธิภาพ แต่เสียงเบาประหยัดไฟ ผลิตภัณฑ์สีเขียว

Makino and Shigematsu (2005) ได้ทำการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดเล็ก โดยการใช้การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ในการหาปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ รวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งในการปรับปรุงนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในปัจจุบันมาใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งช่วยในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่เป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อนได้ถึง 20.2%

จากการประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งทำให้สามารถทราบถึงชิ้นส่วนหรือช่วงวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดที่ควรได้รับการแก้ไขผลิตภัณฑ์และทำให้เห็นถึงแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้ตรงความต้องการของลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศไทย ยังไม่มีการศึกษาเพื่อทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และนำไปสู่การหาแนวทางการแก้ไขชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อม

มากที่สุดและแนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้ตรงความต้องการของลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อม

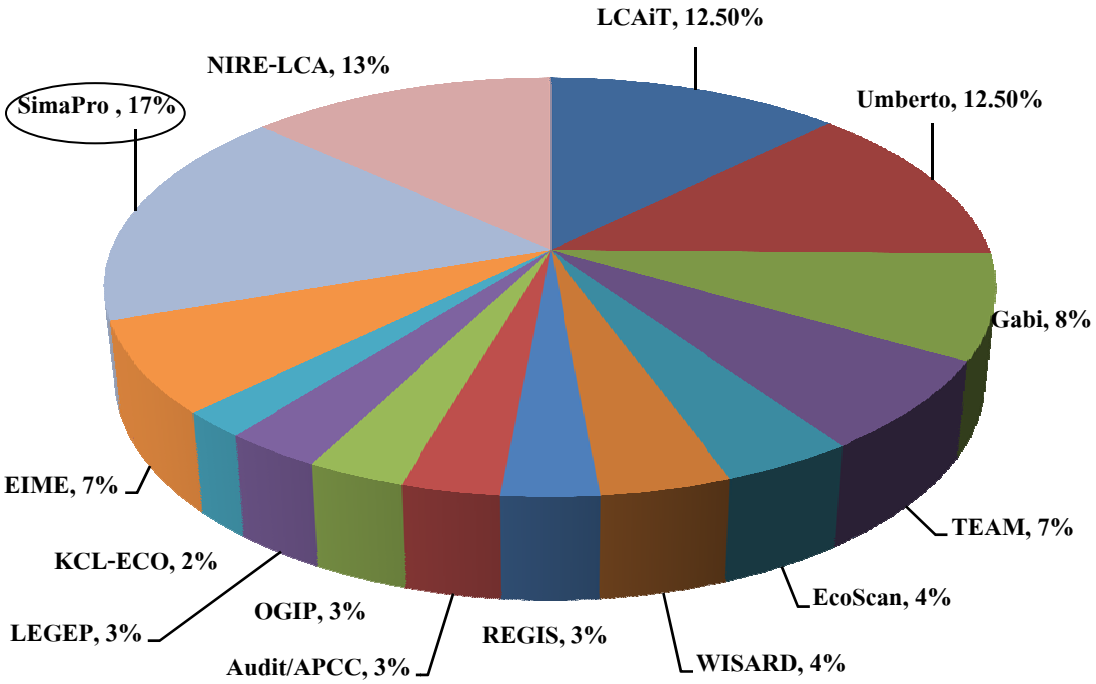
2.5 โปรแกรม Simapro

ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะมีตัวเลขและข้อมูลเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นจำนวนมาก และยังมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนและเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลหลายส่วน ทำให้ปัจจุบันมีหลายประเทศได้ให้ความสำคัญและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นมาอย่างหลากหลายเพื่อช่วยในการคำนวณผลกระทบให้ง่ายยิ่งขึ้น พร้อมทั้งลดความผิดผลาดจากการคำนวณ โดยแสดงโปรแกรมสำเร็จรูปและผู้พัฒนาในตารางที่ 2.11 โดยธีรนันทา ฤทธิ์มณี และ จิรวรรณ เตียรถ์สุวรรณ (2548) กล่าวว่าโปรแกรม SimaPro ถูกใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่น และง่ายต่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบเป็นอย่างมาก เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องโดยบริษัท Pre Consultants B.V. ประเทศเนเธอร์แลนด์ตั้งแต่ปี 1990 เพื่อให้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

โปรแกรม Simapro ได้รับการยอมรับในการนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด จากการพิจารณาอัตราส่วนแบ่งทางการตลาดในปัจจุบันที่อยู่ในอันดับที่ 1 ของตลาด Software (Pre' Consultants, 2001) ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.17 จากการศึกษาของกฤษกร เจียมจรัสศิลปะ และคณะ (2548) ได้ใช้โปรแกรมในการประเมินวัฏจักรชีวิตของสีผง SimaPro 5.1 วิธี Eco-Indicator 95 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสีผงประเภทโพลีเอสเตอร์-อีพอกซี 1 กิโลกรัม จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้าน การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก 31.1 kg CO_2 การลดลงของชั้นโอโซน 0.00000801 kg CFC_{11} ภาวะความเป็นกรด 0.182 kg SO_2 โลหะหนัก 0.0000629 kg Pb และการใช้พลังงาน 1440 MJ LHV โดยขั้นตอนการเคลือบสีผงกับชิ้นงานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือขั้นตอนการขนส่งการผลิตวัตถุดิบ การผลิตสีผง และการกำจัด โดยขั้นตอนการเคลือบสีผงกับชิ้นงานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าช่วงการขนส่งถึง 13.5 เท่า และสูงกว่าขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ 13.7 เท่า

ตารางที่ 2.11 โปรแกรมสำเร็จรูปในการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

ประเทศ	ชื่อโปรแกรม	ผู้ผลิตโปรแกรม
ญี่ปุ่น	NIRE-LCA JEMAI-LCA	AIST JEMAI
เนเธอร์แลนด์	CMLCA SimaPro CEDA	CML Pre Consultants bv CML and EnvirolnformaticaCo.
เยอรมันนี	Umberto GaBi LEGEP	Ifu Hamburg Gmbh PE Europe Gmbh LEGEP Solfware Gmbh
ฝรั่งเศส	TEAM EIME WISARD	Ecobilian S.A. CODDE Ecobilian S.A.
สหรัฐอเมริกา	EIO-LCA TRACI	Carnegie Mellon University U.S. EPA
สวีเดน	EPS 2000 LCAiT WWLCAW	Asswss EcostrateguyScandinavia CIT Ekologik AB IMI
ฟินแลนด์	KCL-ECO	Centrallaboratorium
สวิตเซอร์แลนด์	EMIS SIMBOX	Carbotech Inc. EAWAG

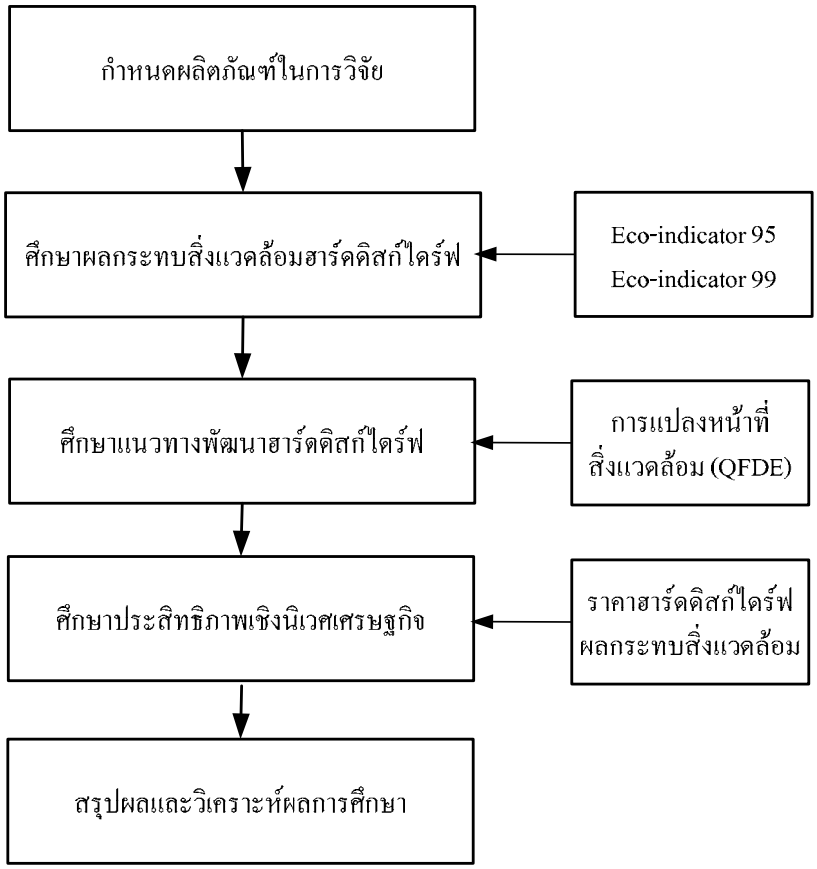


รูปที่ 2.17 แสดงอัตราส่วนแบ่งทางการตลาดของโปรแกรมสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยซึ่งประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูล ฐานข้อมูลพื้นฐานในการวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ในช่วงของขั้นตอนการได้มาของวัตถุ และขั้นตอนการใช้งานด้วยการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยแสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 ประเภทผลิตภัณฑ์ในการทำวิจัย

ผลิตภัณฑ์ในการทำวิจัย เป็นผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีกฎระเบียบทางการค้าที่สำคัญในการค้ากับต่างประเทศ ได้แก่ ระเบียบเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE) ระเบียบการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (The Restriction of the use of certain Hazardous Substance in electrical and electronic equipment: RoHS) และระเบียบว่าด้วยกรอบข้อกำหนดการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลังงาน (Energy-using Product: EuP) โดยในการวิจัยครั้งนี้เลือกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุขนาดตั้ง 40 - 320 GB และมีฟังก์ชันพื้นฐานที่เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้การศึกษาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีข้อผิดพลาดที่ลดลง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในการวิจัย

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	น้ำหนัก (kg)	พื้นที่ความจุ (Gigabyte)	พลังงานไฟฟ้า (Watt)	ราคา (บาท)
1	xx	40	xx	xx
2	xx	80	xx	xx
3	xx	160	xx	xx
4	xx	250	xx	xx
5	xx	320	xx	xx

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีวิธีการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่ประกอบด้วย การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ การศึกษาแนวทางพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) ผลิตภัณฑ์

3.3.1 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทำการประเมินในช่วง การได้มาของวัตถุดิบและขั้นตอนการใช้งานฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ด้วยการแยกชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และคำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตลอดอายุการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยขั้นตอนในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ทำการแยกชิ้นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุขนาดต่าง ๆ และแยกประเภทวัสดุ

2. ทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และทำการชั่งน้ำหนักแยกประเภทของวัสดุแต่ละชนิดชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

3. นำข้อมูลที่ได้จากการแยกชิ้นส่วนและชั่งน้ำหนักของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นข้อมูลที่สารขาเข้าในการลงฐานข้อมูลโปรแกรม SimaPro 7.1 เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมพร้อมทำการเลือกฐานข้อมูลให้ตรงตามวัสดุของผลิตภัณฑ์ โดยแสดงรูปภาพในการป้อนข้อมูลและเลือกฐานข้อมูลในโปรแกรม Simaproดังแสดงในรูปที่ 3.3

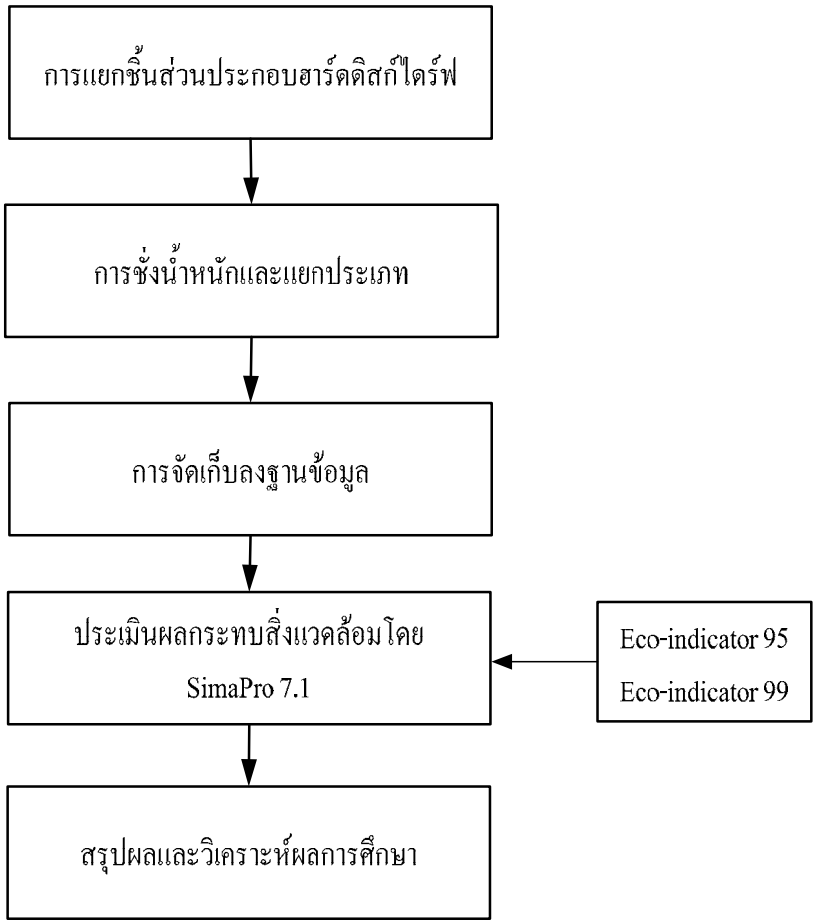
4. ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 95 และวิธี Eco-indicator 99 จากการลงฐานข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา โดยทำการตัดค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ 0.1% (Cut off 0.1%) และแสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score)

5. สรุปผลการศึกษาผลกระทบของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในรูปแบบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) และทำการวิเคราะห์ผลการศึกษา

3.3.2 การศึกษาแนวทางพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ในการศึกษาแนวทางพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ใช้เครื่องมือการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม ทำการประเมินจากความต้องการของลูกค้า ด้วยแบบสอบถามความพึงพอใจของลูกค้า โดยกลุ่มลูกค้าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในการศึกษาครั้งนี้เป็นกรณีศึกษานักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเนื่องจากผลสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตปี 2550 สัดส่วนของกลุ่มผู้ใช้อินเทอร์เน็ตมากที่สุดอยู่ในช่วงอายุ 19-24 ปีหรือคิดเป็น 19% (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2552) และผลสำรวจผู้ใช้อินเทอร์เน็ตปี 2548 ประชากรช่วงอายุ 15-24 ปีมีการใช้คอมพิวเตอร์และอินเตอร์เน็ตที่ร้อยละ 48.9 และ 31.3 (กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2552) ซึ่งทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 400 ฉบับจากจำนวนนักศึกษาทั้งหมด 10,982 คน (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Yamane, 1976) โดยแสดงขั้นตอนแผนผังการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3.3

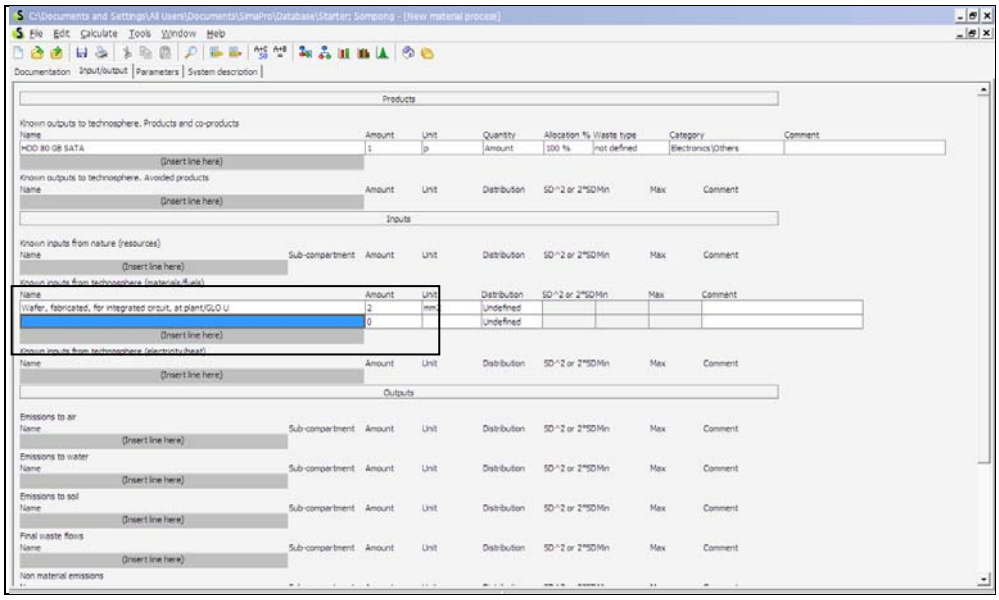
1. การออกแบบสำรวจความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะทำการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.2



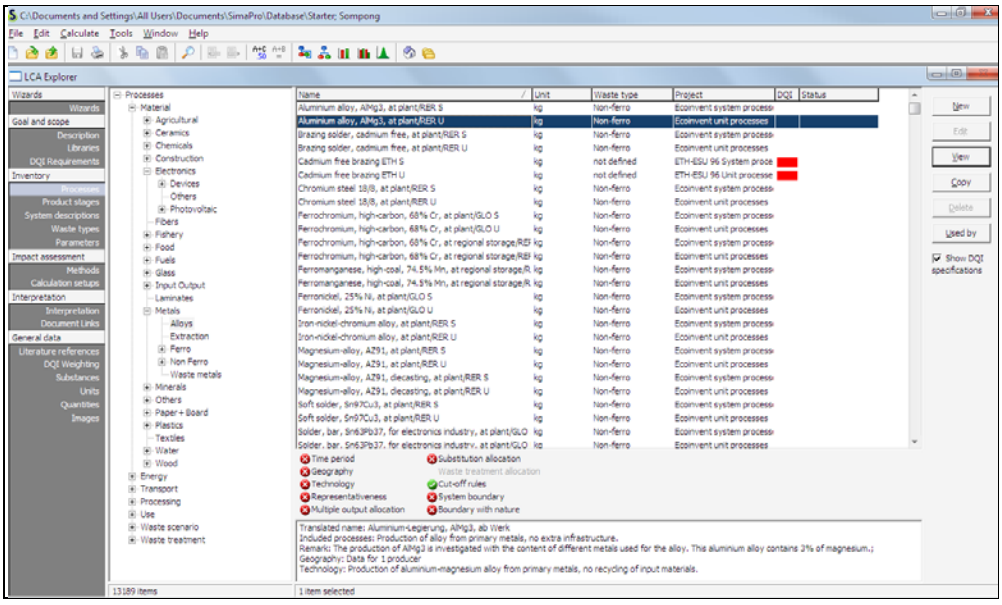
รูปที่ 3.2 วิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

2. การสำรวจแบบสอบถาม ทำการสำรวจความต้องการของลูกค้าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในด้านสิ่งแวดล้อม โดยทำการแจกแบบสอบถามในเวลา 8.00 – 17.00 นาฬิกา อาคารเรียนรวม อาคารวิชาการ และบรรณสาร และรอรับแบบสอบถามจากผู้ประเมิน สำหรับการประเมินความสัมพันธ์ความต้องการของลูกค้าด้านสิ่งแวดล้อมต่อพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม ทำการสำรวจด้วยการส่งแบบสอบถามในรูปแบบ ไปรษณีย์และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 40 ฉบับ จากการคำนวณ 10% จำนวนแบบสอบถามลูกค้า (จุฑารัตน์ ซื่อสัตย์, 2550)

3. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลโดยนำผลจากแบบสอบถามที่เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ป้อนลงตารางช่อง VOC importance level ตามความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของลูกค้า และทำการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าด้านสิ่งแวดล้อมกับพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการสอบถาม แบบสอบถาม หรือ ทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (Email) จากผู้ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตและการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในประเทศไทยที่อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยความสำคัญ



(ก)

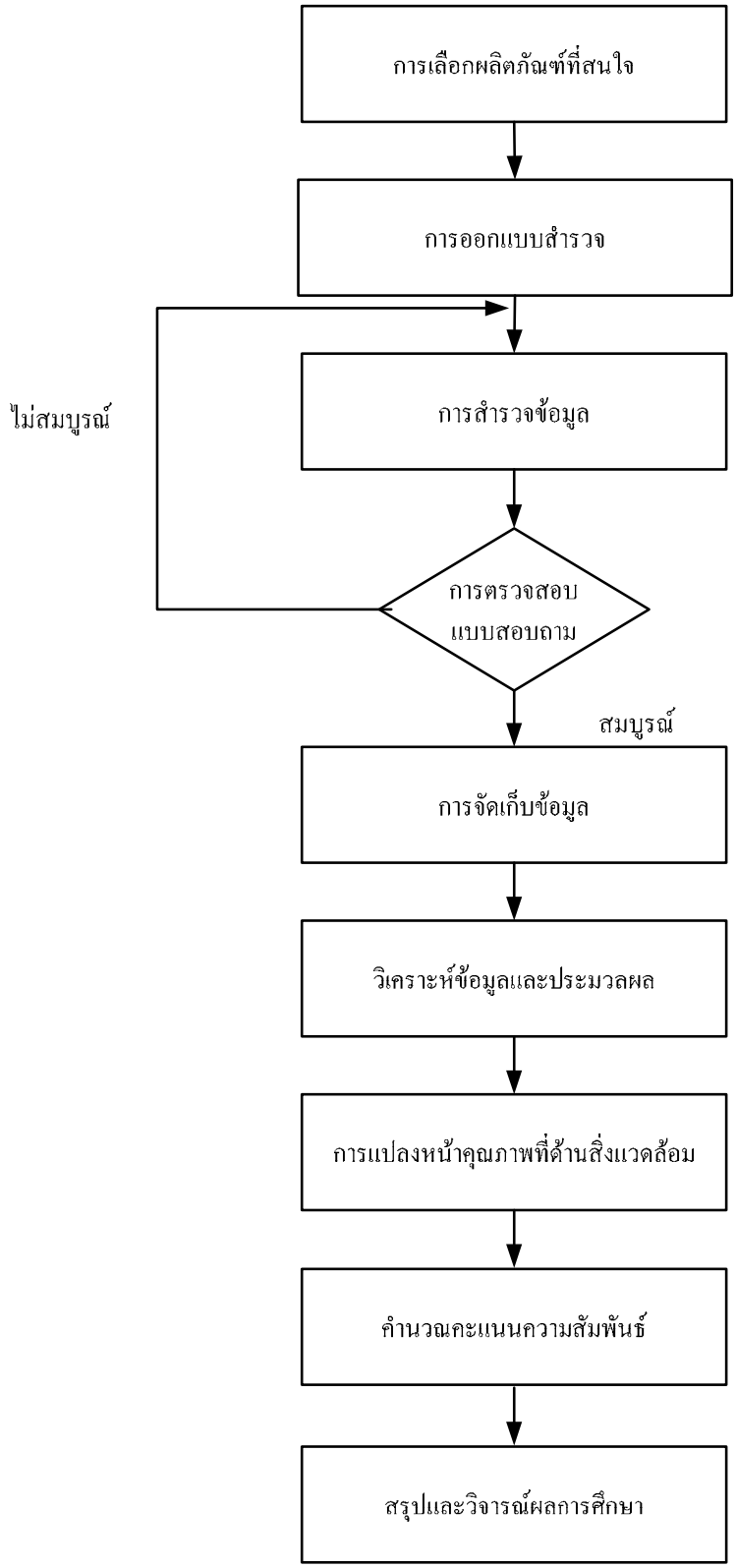


(ข)

รูปที่ 3.3 การใช้โปรแกรม Simapro 7.1ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

(ก) การป้อนข้อมูลสารขาเข้าลงในโปรแกรมSimaPro 7.1

(ข) การเลือกฐานข้อมูลและวัสดุ



รูปที่ 3.4 วิธีการศึกษาการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

4. การนำข้อมูลที่ประมวลผลได้เข้าสู่ขั้นตอนการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม (QFDE) ด้วยการคำนวณคะแนนความสัมพันธ์กับความต้องการของลูกค้าด้านสิ่งแวดล้อม โดยนำค่าเปอร์เซ็นต์ VOC importance level แต่ละประเด็นคูณกับค่าพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 3.5

5. ทำการรวบรวมคะแนนความสัมพันธ์ความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของลูกค้ากับพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อมที่ได้ในแต่ละพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 3.6

6. วิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ได้จากการแปลงด้านหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม (QFDE) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ในด้านที่ลูกค้าให้ความสำคัญและด้านที่เป็นแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์โดยแสดงตารางการประเมินหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม (QFDE) และขั้นตอนการศึกษาแนวทางการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

3.3.3 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) สามารถทำได้จากการพิจารณาสัดส่วนทางด้านเศรษฐศาสตร์ (มูลค่าผลิตภัณฑ์และการบริการ) เปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม โดย WBCSD (1992) ได้กำหนดวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ 2.1 ข้างล่างนี้

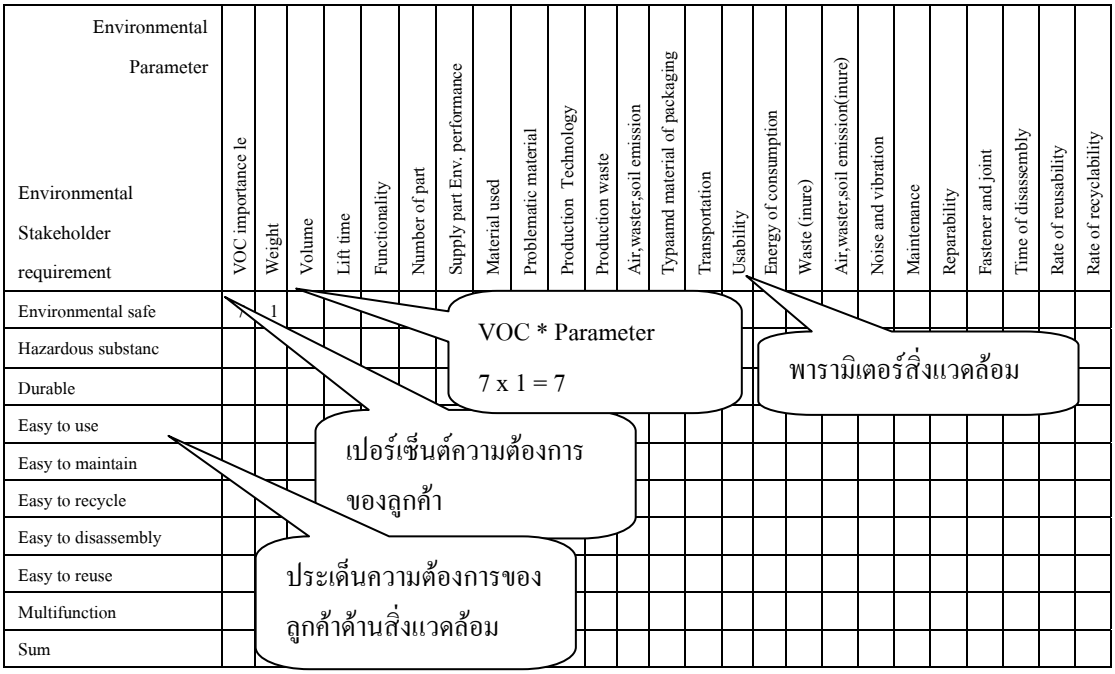
$$\text{ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency)} = \frac{\text{มูลค่าผลิตภัณฑ์หรือการบริการ}}{\text{ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม}} \quad (3.1)$$

โดยการศึกษาครั้งนี้ทำการกำหนดตัวแปรในการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยตัวแปรขาเข้า (Input) ได้แก่ ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ประเมินได้จากโปรแกรม SimaPro 7.1 ด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 ในขณะที่ผลผลิตทางด้านเศรษฐศาสตร์ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Output) ได้แก่ ราคาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด ครั้งนี้สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.2 และแสดงขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในรูปที่ 3.7

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency)} = \frac{\text{ราคาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ}}{\text{ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจาก SimaPro 7.1}} \quad (3.2)$$

ตารางที่ 3.2แบบประเมินความพึงพอใจของลูกค้าในการตัดสินใจเลือกซื้อฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์		ระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจ									
		มากที่สุด									น้อยที่สุด
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
หมวด: ขั้นตอนการผลิต											
1	มีการปล่อยมลพิษออกมาน้อยในขั้นตอนการผลิต (เช่น การปล่อยน้ำเสีย, อากาศ, ขยะของเสีย)										
2	ในขั้นตอนการผลิตใช้เทคโนโลยีที่มีการปล่อยมลพิษน้อย (เช่น (เช่น การปล่อยน้ำเสีย, อากาศ, ขยะของเสีย)										
3	มีการใช้สารเคมีอันตรายในขั้นตอนการผลิตน้อย										
4	ใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ในขั้นตอนการผลิต										
หมวด: ผลิตภัณฑ์											
1	ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Gigabyte)										
2	จำนวนชิ้นส่วนประกอบที่น้อยลงของผลิตภัณฑ์										
3	อายุการใช้งานยาวนาน(ช่วงระยะเวลาการรับประกันผลิตภัณฑ์)										
4	ลดวัสดุในการห่อและบรรจุผลิตภัณฑ์										
5	ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในขณะใช้งาน										
6	สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่										
7	สะดวกในการนำกลับมารีไซเคิล										
8	ซ่อมแซมง่ายและมีวัสดุสำรอง										
9	สะดวกในการถอดประกอบ										
10	ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล										
11	สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา										

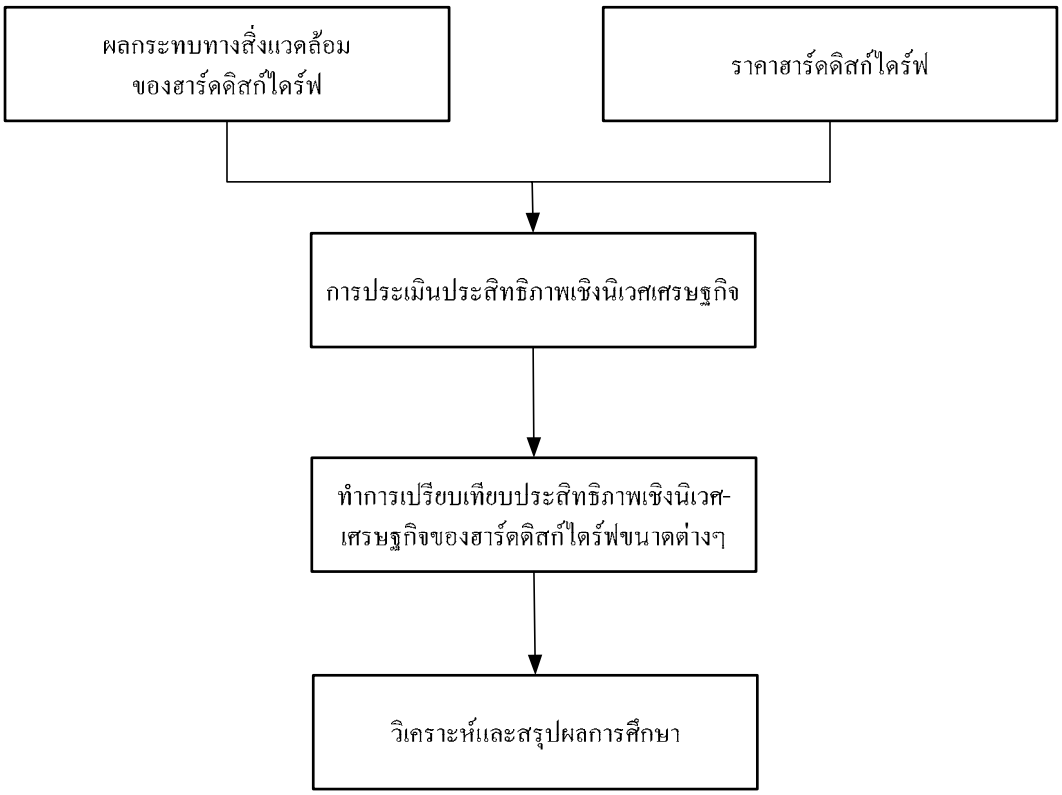


รูปที่ 3.5การประเมินหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม (QFDE)

Environmental Parameter / Environmental Stakeholder requirement	VOC importance le	Weight	Volume	Lift time	Functionality	Number of part	Supply part Env. perfomance	Material used	Problematic material	Production Technology	Production waste	Air,waster,soil emission	Typaamd material of packaging	Transportation	Usability	Energy of consumption	Waste (inure)	Air,waster,soil emission(inure)	Noise and vibration	Maintenance	Reparability	Fastener and joint	Time of disassembly	Rate of reusability	Rate of recyclability
Environmental safe	7	7																							
Hazardous substanc	6	9																							
Durable	6	9																							
Energy saving	7	9																							
Easy to maintain	7	7																							
Easy to recycle	6	0																							
Easy to disassembly	7	0																							
Easy to reuse	6	0																							
Multifunction	7	5																							
Sum																									

7+9+9+9+7+0+0+0+5 = 46

รูปที่ 3.6 การรวบรวมคะแนนความสัมพันธ์การประเมินหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม (QFDE)



รูปที่ 3.7ขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

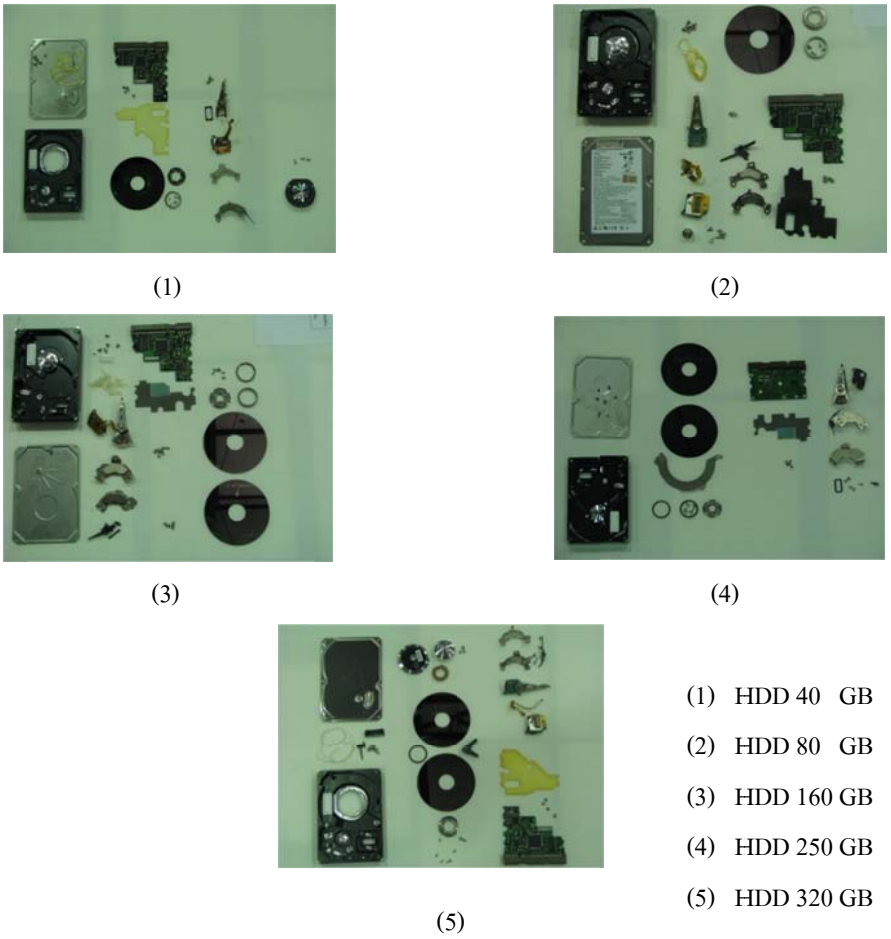
การศึกษาวิจัยนี้ประกอบด้วยผลการศึกษา 3 หัวข้อหลักได้แก่ (1) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (2) แนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการแปลงหน้าที่สิ่งแวดล้อม และ (3) ผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

4.1.1 คุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำการศึกษาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 5 ขนาดประกอบด้วยขนาด 40 80 160 250 และ 320 GB โดยทำการประเมินขอบเขตของขั้นตอนวัตถุดิบด้วยการแยกชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและคัดแยกประเภทวัสดุตามชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (จุฑารัตน์ ซื่อสัตย์, 2550) ส่วนขั้นตอนใช้งานใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวแปรในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในขั้นตอนนี้ (Byung-Chul et al, 2006) โดยกำหนดระยะเวลาการใช้งานฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสูงสุดเป็นเวลา 5 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาการรับประกันสินค้าของบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยส่วนใหญ่

จากการศึกษาโดยการแยกชิ้นส่วนและคุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทั้ง 5 ขนาดความจุ ซึ่งประกอบด้วย Body PCBA Motor Media และ Head เป็นองค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 250 GB มีน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 599.2945 กรัม และมีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 160และ 320 GB คือมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 571-599 กรัม แต่มีน้ำหนักแตกต่างกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 40 และ 80 GB ค่อนข้างมาก โดยฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 40 และ 80 GB มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 33-66 กรัม เนื่องจากฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟกลุ่ม 160 250 และ 320 GB มีขนาดความจุสูงจึงทำให้ต้องเพิ่มจำนวนแผ่นบันทึกข้อมูล (Media) และชุดหัวอ่านเขียน (Head) ที่มากกว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทั้งสองขนาด (40 GB 80 GB) จึงส่งผลทำให้มีน้ำหนักที่มากกว่า



รูปที่ 4.1 การแยกชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด

จากผลการศึกษาน้ำหนักของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุพบว่าส่วนใหญ่เป็นน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Body) ซึ่งมีวัสดุเป็นอลูมิเนียม เมื่อคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าอยู่ระหว่าง 58-67% ของน้ำหนักฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทั้งหมดและไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุ แต่น้ำหนักชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้แก่ มอเตอร์ (Motor) หัวอ่าน (Head) และแผ่นบันทึกข้อมูล (Media) ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดมีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน เนื่องจากความจุที่เพิ่มขึ้นของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำให้ต้องเพิ่มชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในส่วนของชุดหัวอ่านและแผ่นบันทึกข้อมูล ได้แก่ แผ่นบันทึกข้อมูล ชุดประกอบหัวอ่านเขียน และในขณะเดียวกันเทคโนโลยีในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีการพัฒนาหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการออกแบบให้มีขนาดที่เล็กลงและเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลได้มากขึ้นของหัวอ่านเขียนและแผ่นบันทึกข้อมูล (Suk et al., 2003)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

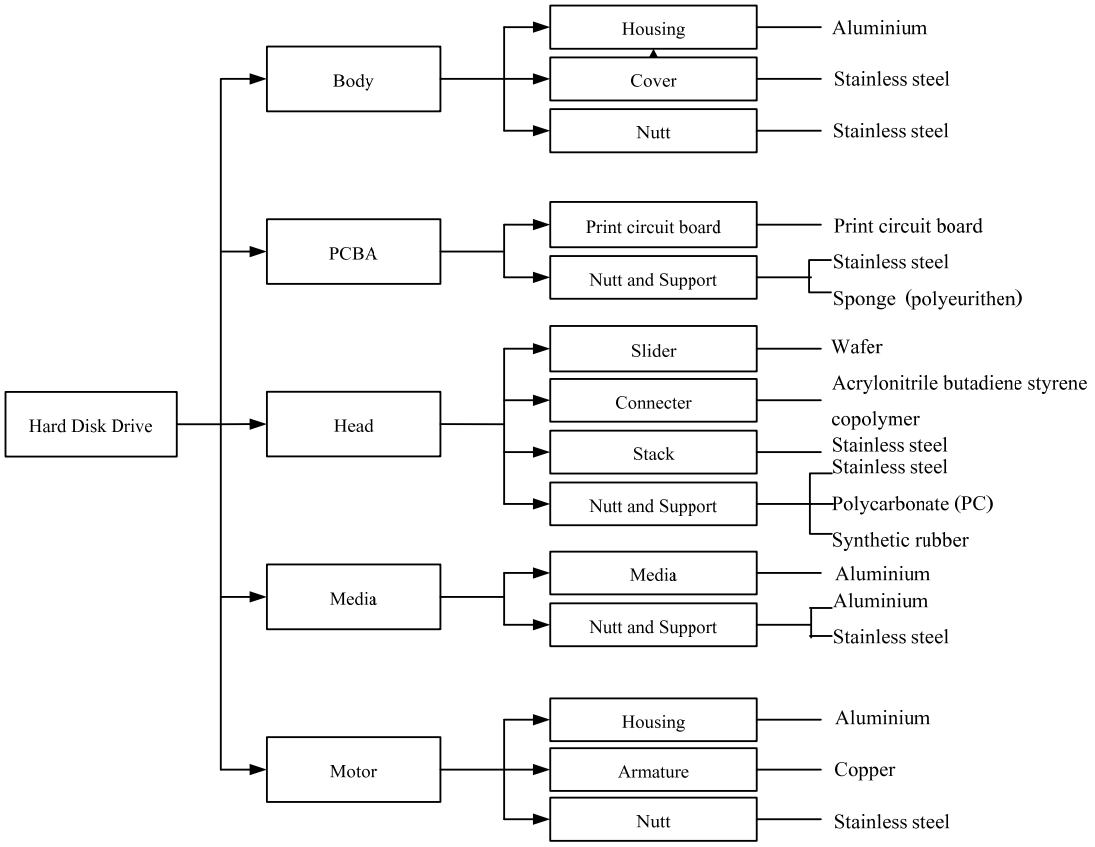
HDD (GB)	Component										Weight (gram)	Slider (No)	Electrical (kWh)	Price (Bath)
	Body		PCBA		Motor		Head		Media					
	gram	%	gram	%	gram	%	gram	%	gram	%				
40	358.1431	67	29.2890	5	62.8075	12	53.6514	10	28.2619	5	533.1529	1	11.169[a]	875[b]
80	358.3277	67	28.5624	5	62.8074	12	58.6760	11	28.2655	5	538.6390	2	19.359[a]	1,520[c]
160	363.4358	64	29.8496	5	62.5804	11	58.5022	11	52.9262	9	571.2942	4	16.754[a]	1,620[c]
250	353.5273	59	26.1423	4	35.1652	6	101.1787	17	83.2810	14	599.2945	3	16.754[a]	2,090[c]
320	356.8963	61	22.5214	4	36.1081	6	101.2219	17	71.3585	12	588.1062	4	16.679[a]	2,180[c]

หมายเหตุ : [a] ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ข้อมูลจากเว็บไซต์ Toshiba storage

[b] ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ข้อมูลจากเว็บไซต์ Directron

[c] ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ข้อมูลจากเว็บไซต์ J.I.B.

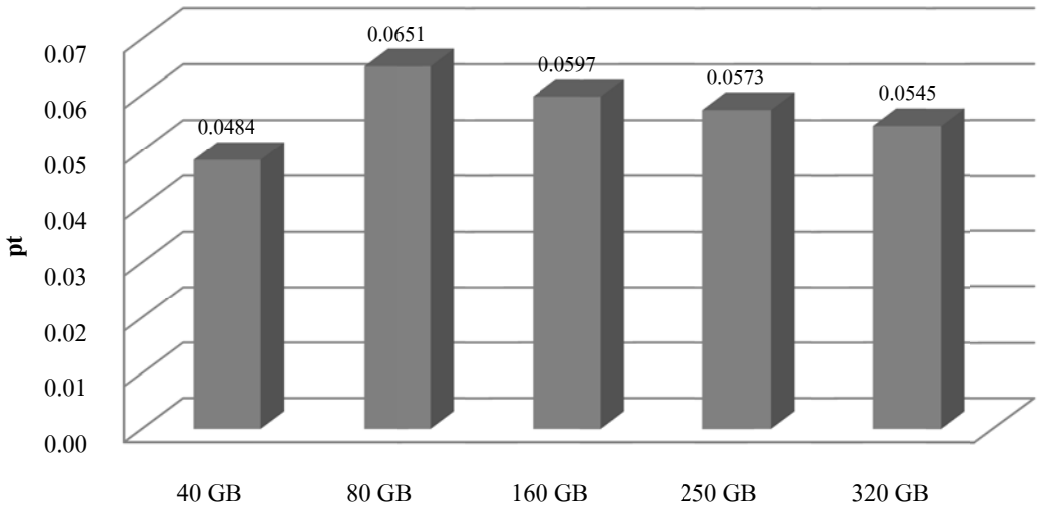
อีกทั้งการออกแบบให้ชิ้นส่วนมอเตอร์ให้มีการใช้วัสดุโครงสร้างร่วมกับตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ทำให้ค่าน้ำหนักของมอเตอร์มีค่าที่น้อยลง เมื่อทำการแยกวัสดุตามชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟย่อยดังรายละเอียดในรูปที่ 4.2 พบว่าชิ้นส่วนชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีจำนวนชิ้นส่วนและวัสดุย่อยที่มากกว่าชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟหลักตัวอื่น เนื่องจากขั้นตอนการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เกิดขึ้นจากการเขียนอ่านข้อมูลของชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนมากกว่า 100 ขั้นตอน อีกทั้งมีการใช้วัสดุหลากหลายชนิดในการผลิตก่อนนำประเภทวัสดุของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าสู่ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด



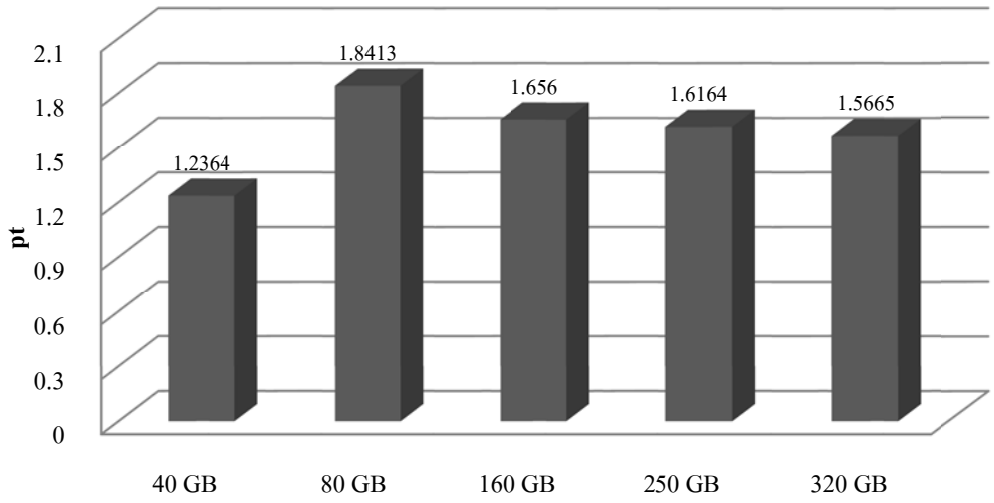
รูปที่ 4.2 ประเภทวัสดุของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

4.1.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุ

การศึกษาผลกระทบสิ่ง แวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 โดยทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุในขั้นตอนของวัตถุดิบและขั้นตอนการใช้งาน พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 80 GB มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจาการประเมินทั้ง 2 วิธี โดยมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.0651 และ 1.8413 คะแนนด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 ตามลำดับ เนื่องจากขั้นตอนใช้งานฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 80 GB มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดอื่น ๆ (Toshiba, 2009; University of Cambridge, 2009) ในขณะที่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 80 GB ไม่มีความแตกต่างกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดความจุอื่น ๆ (ตารางที่ 4.1) ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 80 GB มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 95



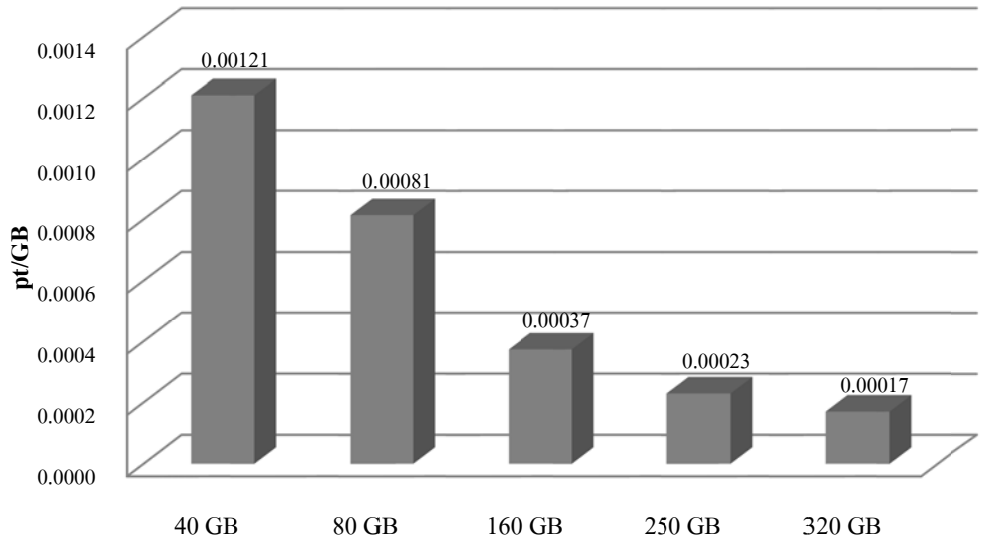
รูปที่ 4.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco- indicator 99

4.1.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟต่อความจุ

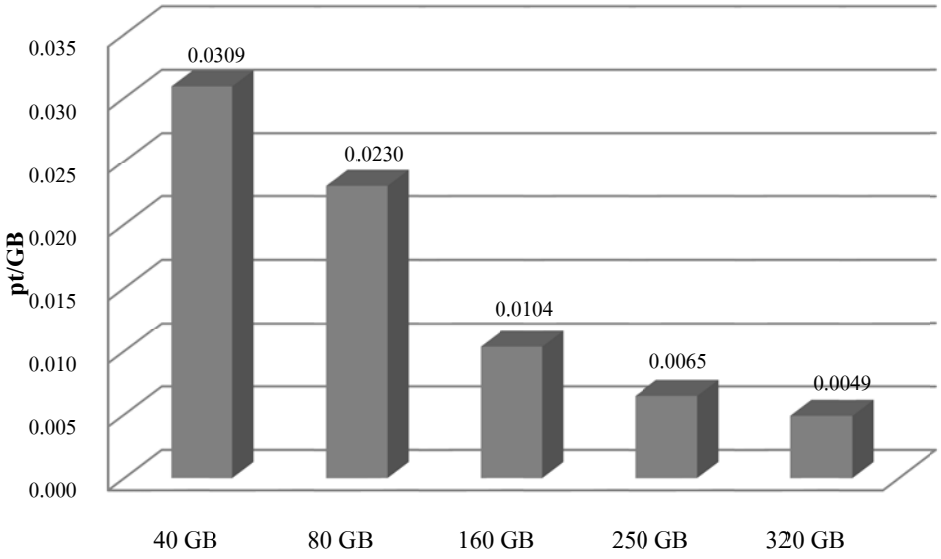
จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุ ซึ่งมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหน่วยคะแนนต่อฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุที่แตกต่างกัน โดยในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมข้อมูลควรอยู่ในหน่วยเดียวกันหรือที่เรียกว่า “หน่วยพื้นฐาน” (Function unit) เช่น การศึกษาความเหมาะสมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่มีการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทเชื้อเพลิงต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ 1 ตัน (เหมือนจิต วิเชฎฐะพงศ์, 2551) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงนำผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดเปรียบเทียบต่อหน่วยความจุ โดยมีหน่วยพื้นฐานในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดเป็นคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อหนึ่งหน่วยความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Point/1 GB)

จากการศึกษาโดยการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุในหน่วยพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 40 GB มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยความจุมากที่สุดด้วยวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งสองวิธีโดยมีค่าเท่ากับ 0.00121 และ 0.0309 Pt/1 GB และฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 320 GB มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 0.00017 และ 0.0049 Pt/1 GB ด้วยวิธี Eco-indicator 95 Eco-indicator 99 ตามลำดับ และพบว่าแนวโน้มผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยความจุมีค่าน้อยลงตามขนาดความจุที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดมีค่า ความจุแตกต่างกันค่อนข้างมากเมื่อนำมาเปรียบเทียบแนวโน้มผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟต่อขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จึงส่งผลให้ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อความจุ (Pt/GB) ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีขนาดความจุน้อยส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด อีกทั้งมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อความจุลดลงตามขนาดความจุที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งสองวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมดังนั้นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่คำนึงถึงขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยไม่ได้พิจารณาให้อยู่บนหน่วยพื้นฐานเดียวกันนั้น ทำให้ไม่สามารถระบุความแตกต่างของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้



รูปที่ 4.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 95 ต่อ GB



รูปที่ 4.6 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 95 ต่อ GB

4.1.4 เปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนวัตถุดิบและขั้นตอนใช้งาน

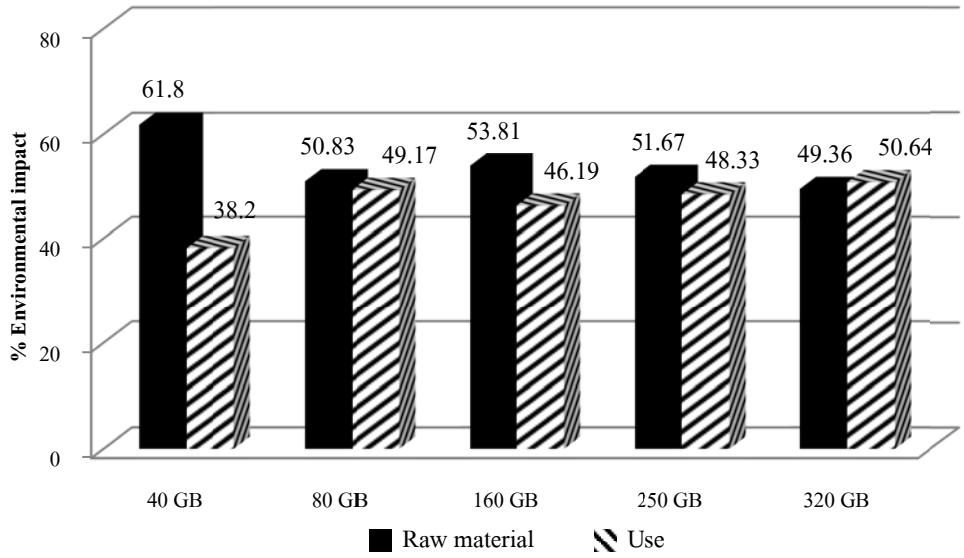
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนวัตถุดิบและขั้นตอนใช้งาน ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดในขั้นตอนวัตถุดิบของชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและขั้นตอนใช้งานจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่านั้นเนื่องจากขั้นตอนใช้งานมีการใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาพบว่าการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 40 80 160 250 และ 320 GB ด้วยวิธี Eco-indicator 95 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากขั้นตอนวัตถุดิบของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมอยู่ในช่วง 50-61% แต่ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 320 GB พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนวัตถุดิบของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าใกล้เคียงกับขั้นตอนใช้งาน โดยมีค่าสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 49.46% และ 50.54% ในขั้นตอนวัตถุดิบและขั้นตอนใช้งานตามลำดับ เนื่องจากขั้นตอนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 320 GB มีการออกแบบให้ใช้วัตถุดิบชิ้นส่วน PCBA น้อยกว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดความจุอื่น ซึ่งชิ้นส่วน PCBA มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อน้ำหนักที่มากกว่าวัสดุชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิดอื่น ที่ใช้ในขั้นตอนวัตถุดิบ โดย PCBA มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.67 Pt/kg (Roland et al., 2007) ขณะที่ชิ้นส่วนโครงสร้างฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Body) และชิ้นส่วนแผ่นบันทึกข้อมูล (Media) เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตจากวัสดุอลูมิเนียมมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.0407 Pt/kg (Hans, 2003) จึงส่งผลให้เมื่อทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลง และเมื่อสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนวัตถุดิบมีค่าลดลงทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการใช้งานเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7

ส่วนผลการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 99 แสดงในรูป 4.8 ที่มีการจำแนกผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเป็น 11 ประเภท ประกอบด้วย (1) Carcinogen (2) Resp Organic (3) Resp Inorganic (4) Climate change (5) Radiation (6) Ozonelayer (7) Eco toxicity (8) Acidification/Eutrophication (9) Land use (10) Minerals และ (11) Fossil fuel และแยกผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทให้อยู่ใน 3 ด้านคือ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ ด้านสุขภาพมนุษย์ และด้านระบบนิเวศ โดยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบคะแนนเชิงเดี่ยว มีการให้ค่าน้ำหนักด้านสุขภาพมนุษย์และระบบนิเวศมากกว่าด้านทรัพยากรธรรมชาติ โดยพบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนใหญ่เกิดจากการขั้นตอนการใช้งานที่ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยคิดเป็น 61-72% ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เนื่องจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธี Eco-indicator 99 ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นวงกว้างทั้ง 3 ด้าน ในขณะที่วัตถุดิบที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขอบเขตที่ขนาดเล็กกว่า ทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขั้นตอนใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเสกสรร พาป้อง และคณะ (2551) ที่ได้ทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเครื่องปรับอากาศพบผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นจากขั้นตอนการใช้งานมากที่สุดคิดเป็น 95%

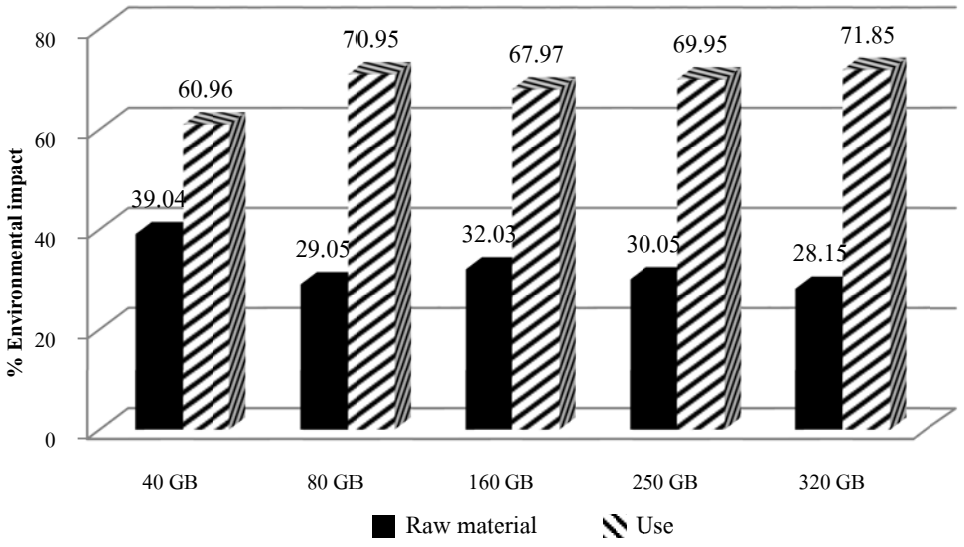
4.1.5 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จากการเปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขั้นตอนวัตถุดิบและขั้นตอนใช้งาน พบว่าในขั้นตอนวัตถุดิบเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม การศึกษาจึงทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดที่ประกอบด้วย Body PCBA Media Head และ Motor โดยพบว่าชิ้นส่วน PCBA มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งสองวิธี โดยมีค่าเท่ากับ 24-32% และ 14-21% ด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 ตามลำดับ เนื่องจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ PCBA ต่อน้ำหนัก มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอื่น ๆ ซึ่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจาก PCBA เท่ากับ 0.67 Pt/kg ขณะที่ชิ้นส่วนโครงสร้างฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Body) และชิ้นส่วนแผ่นบันทึกข้อมูล (Media) เป็นวัสดุอลูมิเนียมมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.0407 Pt/kg ซึ่งจะเห็นได้ว่าชิ้นส่วน PCBA มีคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อน้ำหนักที่เท่ากันมากกว่าชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอื่นถึง 15 เท่า ดังนั้นเมื่อทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับน้ำหนักชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจึงส่งผลให้ชิ้นส่วน PCBA จึงมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และในการศึกษา Roland et al (2007) ซึ่งทำการประเมินวงจรชีวิตสิ่งแวดล้อมของ PCBA พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ

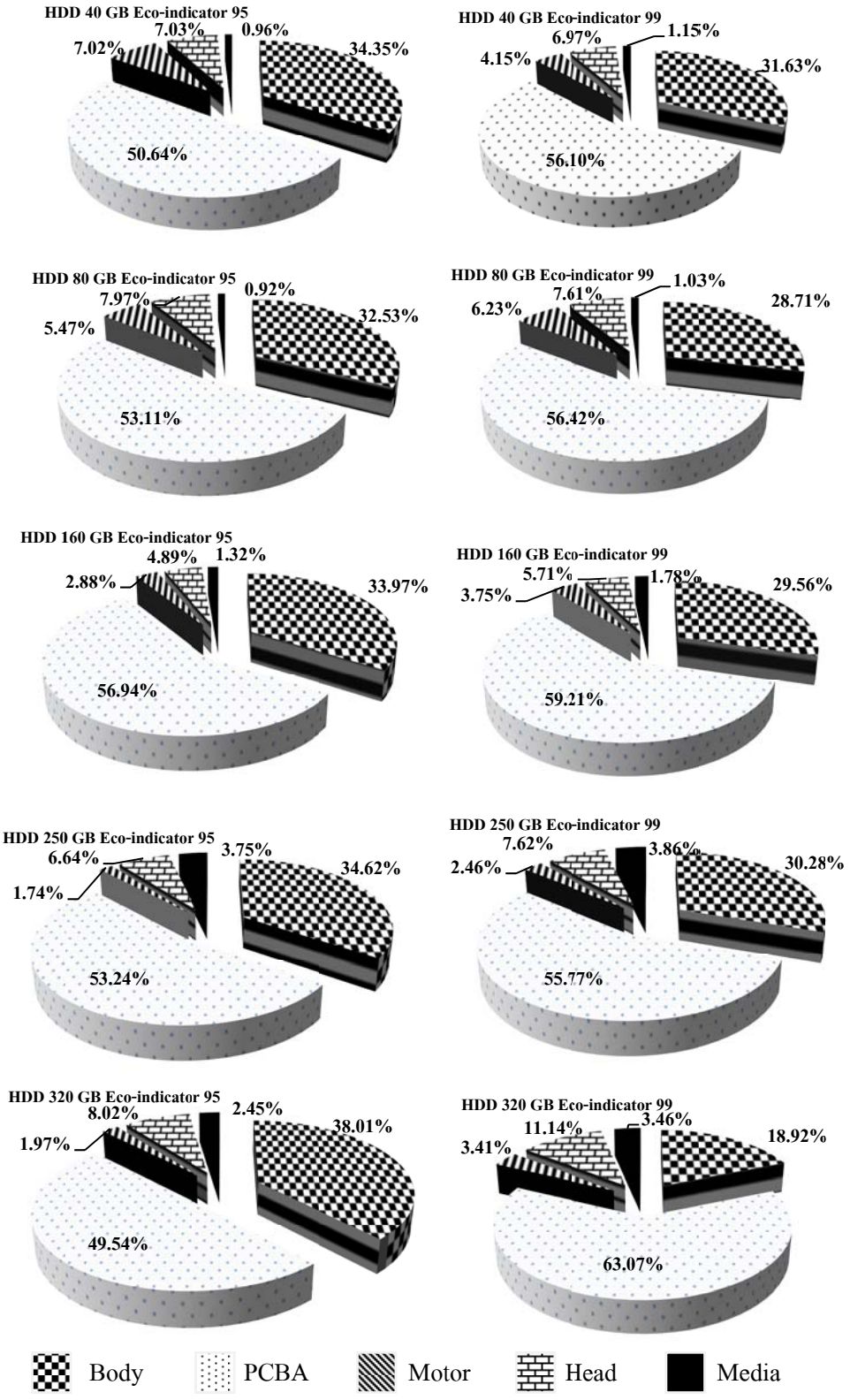
ชิ้นส่วน PCBA ส่วนใหญ่เกิดจากวัสดุทอง ทองแดงและแผ่นแผงวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตโดยคิดเป็น 60% ของค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.7 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดด้วยวิธี Eco-indicator 95



รูปที่ 4.8 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดด้วยวิธี Eco-indicator 99



รูปที่ 4.9 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

4.2 ศึกษาแนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการแปลงหน้าที่สิ่งแวดล้อม

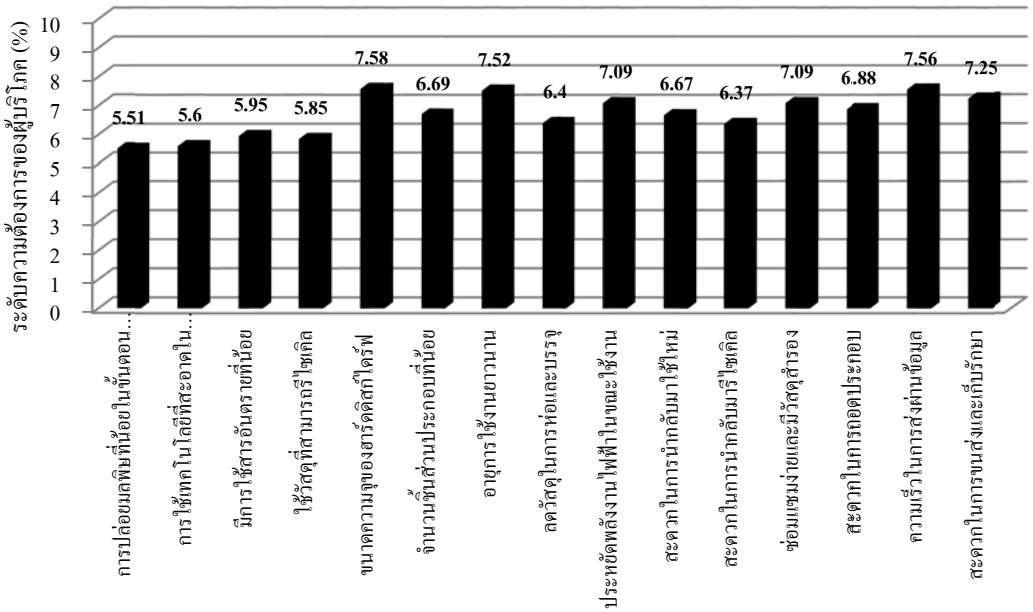
4.2.1 ผลการสำรวจความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค

การประเมินปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยการสำรวจด้วยแบบสอบถามในกลุ่มเป้าหมายที่เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 400 ฉบับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลลูกค้าจากการสำรวจ

รายละเอียด		จำนวน	เปอร์เซ็นต์
เพศ	ชาย	203	50.75
	หญิง	197	49.15
อายุ (ปี)	18-19	159	39.75
	20-21	155	38.75
	22-23	75	18.75
	24-25	6	1.50
	26-27	2	0.50
	มากกว่า 27	3	0.75
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี	386	96.5
	ปริญญาโท	10	2.50
	ปริญญาเอก	4	1.00

จากผลการสำรวจความต้องของด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ด้วยการให้ระดับคะแนนความสำคัญ 0-9 และทำการรวบรวมคะแนนในแต่ละประเด็นความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมก่อนทำการคำนวณแต่ละประเด็นความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมในรูปเปอร์เซ็นต์ของคะแนนแต่ละประเด็นต่อคะแนนทั้งหมด โดยผลการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคทางด้านสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าประเด็นขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล และอายุการใช้งานยาวนาน (ช่วงระยะเวลาการรับประกันผลิตภัณฑ์) เป็นกลุ่มปัจจัยที่ผู้ประเมินให้ความสำคัญมากที่สุด โดยเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์มีค่าเท่ากับ 7.58 7.56 และ 7.52 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ผลสำรวจจากความต้องการของลูกค้าด้านสิ่งแวดล้อม

4.2.2 ผลการสำรวจความสัมพันธ์ความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมต่อพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม

การสำรวจความสัมพันธ์ความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมต่อพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม ทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในประเทศไทยจำนวน 40 ฉบับในการประเมินความสัมพันธ์ความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์ โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและกระบวนการผลิตจากบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เพื่อให้ความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์ต่อผลิตภัณฑ์ กระบวนการออกแบบ กระบวนการผลิต และขั้นตอนหลังการใช้งาน ซึ่งจะมีประเด็นความแตกต่างกันตามความต้องการของผู้บริโภค

จากผลการสำรวจในตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคต่อพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อม พบว่าประเด็นความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์กับทุกกรณีของพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม โดยมีค่าความสัมพันธ์น้อยที่สุดในการศึกษาเท่ากับ 1 คะแนนคือ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผลิตภัณฑ์กับการปล่อยมลพิษออกมาน้อยในขั้นตอนการผลิต และค่าคะแนนความสัมพันธ์ที่มีค่าสูงสุดในการศึกษาเท่ากับ 7 คะแนน ซึ่งเป็นค่าคะแนนความสัมพันธ์ประเด็นความต้องการของผู้บริโภคในด้านการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีสะอาด การลดการใช้สารเคมีอันตรายในขั้นตอนการผลิตกับพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.3 การประเมินปัจจัยความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์

Environmental Parameter / Environmental Stakeholder Requirement	น้ำหนักผลิตภัณฑ์	ขนาดผลิตภัณฑ์	อายุการใช้งาน	ระบบการทำงานของผลิตภัณฑ์	จำนวนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์	ประสิทธิภาพการทำงาน	วัสดุวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต	วัสดุสิ้นแม่เหล็ก	เทคโนโลยีของกระบวนการผลิต	การเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต	มลพิษน้ำ มลพิษอากาศ ปนเปื้อนดิน	วัสดุและรูปแบบบรรจุภัณฑ์
มีการปล่อยมลพิษออกมาน้อยในขั้นตอนการผลิต	1.00	1.38	2.75	3.88	4.13	4.63	6.13	3.63	6.38	6.63	6.13	6.00
การผลิตใช้เทคโนโลยีที่สะอาด	3.00	2.38	3.88	5.25	5.88	5.00	6.13	3.38	7.00	6.25	5.50	4.88
มีการใช้สารเคมีอันตรายในขั้นตอนการผลิตน้อย	2.50	2.75	2.63	2.75	3.25	3.75	6.63	4.38	6.13	6.50	7.00	4.25
ใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ในขั้นตอนการผลิต	1.75	2.13	3.00	2.38	2.63	3.50	6.00	2.00	4.63	5.25	4.88	5.50
ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	6.25	6.00	3.88	4.63	6.25	5.13	4.25	3.50	5.50	2.88	2.00	3.75
จำนวนชิ้นส่วนประกอบที่น้อยลงของผลิตภัณฑ์	7.00	6.75	4.00	5.00	6.63	5.13	5.63	3.00	6.00	3.63	3.38	4.00
อายุการใช้งานยาวนาน	2.13	2.00	5.88	6.50	5.25	5.38	4.88	2.75	6.00	3.75	2.88	3.38
ลดวัสดุในการห่อและบรรจุ	5.38	5.13	2.00	1.88	3.63	2.88	3.25	2.50	2.88	3.63	3.25	6.13
ประหยัดพลังงานในขันตอนใช้งาน	3.38	2.75	3.13	5.63	4.75	5.75	4.25	2.38	3.88	4.13	4.25	2.25
สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่	2.88	3.13	2.88	2.50	3.38	3.00	4.75	2.38	3.50	4.63	4.50	5.13
สะดวกในการนำกลับมารีไซเคิล	3.50	3.00	2.13	3.38	3.75	3.50	4.63	2.38	4.00	5.63	5.63	5.38
ซ่อมแซมง่ายและมีวัสดุสำรอง	2.25	3.13	3.25	4.63	4.38	4.13	3.38	1.63	3.50	3.00	1.75	3.13
สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา	6.75	6.00	2.38	2.75	4.50	3.13	3.25	2.00	3.13	2.25	2.00	4.75
สะดวกในการถอดประกอบ	4.88	5.25	2.50	2.88	4.75	2.63	3.75	3.38	3.00	1.75	1.13	2.63
ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล	3.13	3.25	3.50	6.50	4.63	6.00	3.38	3.75	4.25	2.88	2.25	2.13

ตารางที่ 4.3 การประเมินปัจจัยความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

Environmental Parameter / Environmental Stakeholder Requirement	การขนส่ง	ความสามารถในการใช้งาน	การใช้พลังงานทั้งหมดของผลิตภัณฑ์	การเกิดของเสียหลังหมดอายุการใช้งาน	การเกิดมลพิษน้ำ อากาศ ดิน หลังหมดอายุการทำงาน	มลพิษเสียงและการสั่นสะเทือน	การบำรุงรักษา	ง่ายในการซ่อมแซม	ผู้ขอต่อและสกรู	ระยะเวลาในการเยกชิ้น	อัตราชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	อัตราชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมารีไซเคิลได้
มีการปล่อยมลพิษออกมาน้อยในขั้นตอนการผลิต	4.25	3.25	4.75	5.50	5.13	3.88	3.75	3.13	2.63	2.13	4.00	4.63
การผลิตใช้เทคโนโลยีที่สะอาด	2.38	2.13	3.50	3.75	3.50	4.38	5.25	4.00	4.00	3.25	3.50	3.75
มีการใช้สารเคมีอันตรายในขั้นตอนการผลิตน้อย	2.88	1.25	3.00	5.50	5.75	1.63	4.00	2.13	2.25	2.25	3.00	3.25
ใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ในขั้นตอนการผลิต	1.88	2.38	2.38	6.00	5.38	3.00	3.25	2.25	2.00	2.75	5.00	5.13
ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	2.25	4.25	4.88	4.13	3.13	2.88	3.38	2.38	2.50	2.50	3.38	3.13
จำนวนชิ้นส่วนประกอบที่น้อยลงของผลิตภัณฑ์	4.50	4.13	4.13	3.38	2.88	2.88	4.00	4.00	3.75	5.75	2.88	3.00
อายุการใช้งานยาวนาน	2.75	3.88	3.13	2.50	2.75	2.63	4.88	4.88	3.13	3.25	3.50	3.25
ลดวัสดุในการห่อและบรรจุ	5.38	3.38	1.38	2.63	2.88	2.13	4.00	2.88	2.88	3.00	3.00	2.75
ประหยัดพลังงานในขันตอนใช้งาน	1.75	3.63	7.13	3.63	2.88	3.50	3.38	3.00	2.75	3.38	2.88	3.25
สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่	2.38	2.00	2.13	6.00	4.63	3.25	2.25	2.50	3.50	4.38	5.88	4.25
สะดวกในการนำกลับมารีไซเคิล	2.13	1.88	2.50	5.88	4.75	2.88	1.88	2.63	3.38	4.25	4.25	5.75
ซ่อมแซมง่ายและมีวัสดุสำรอง	1.00	1.63	2.63	3.63	4.00	2.75	6.00	6.38	5.25	5.38	3.88	4.13
สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา	6.50	2.63	1.25	2.00	1.88	0.75	3.88	4.75	3.50	2.75	3.13	3.13
สะดวกในการถอดประกอบ	1.63	2.88	1.88	2.00	1.88	2.00	5.38	6.38	5.38	6.38	4.25	3.88
ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล	0.88	6.38	6.13	2.50	2.75	3.75	2.25	2.00	1.88	2.50	2.25	2.63

4.2.3 ผลการแปลงหน้าที่สิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จากผลการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคด้านสิ่งแวดล้อม และความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้บริโภคกับพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม นำผลการศึกษาดังกล่าวมาทำการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วยการนำเปอร์เซ็นต์ของผลความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคคูณกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคกับพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อมในแต่ละประเด็น ก่อนทำการรวบรวมคะแนนแต่ละพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.4 พบว่าการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมนั้นมีการให้ความสำคัญเรื่องวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นประเด็นที่มีคะแนนมากที่สุด ตามด้วยประเด็นเทคโนโลยีในการผลิต จำนวนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพการทำงาน และวัสดุรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นประเด็นเหล่านี้จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคและให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วยกัน ทำให้ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทราบถึงแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการใช้งาน การบริการหลังการขาย และหลังหมดอายุการใช้งาน โดยผลรวมแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 4.4

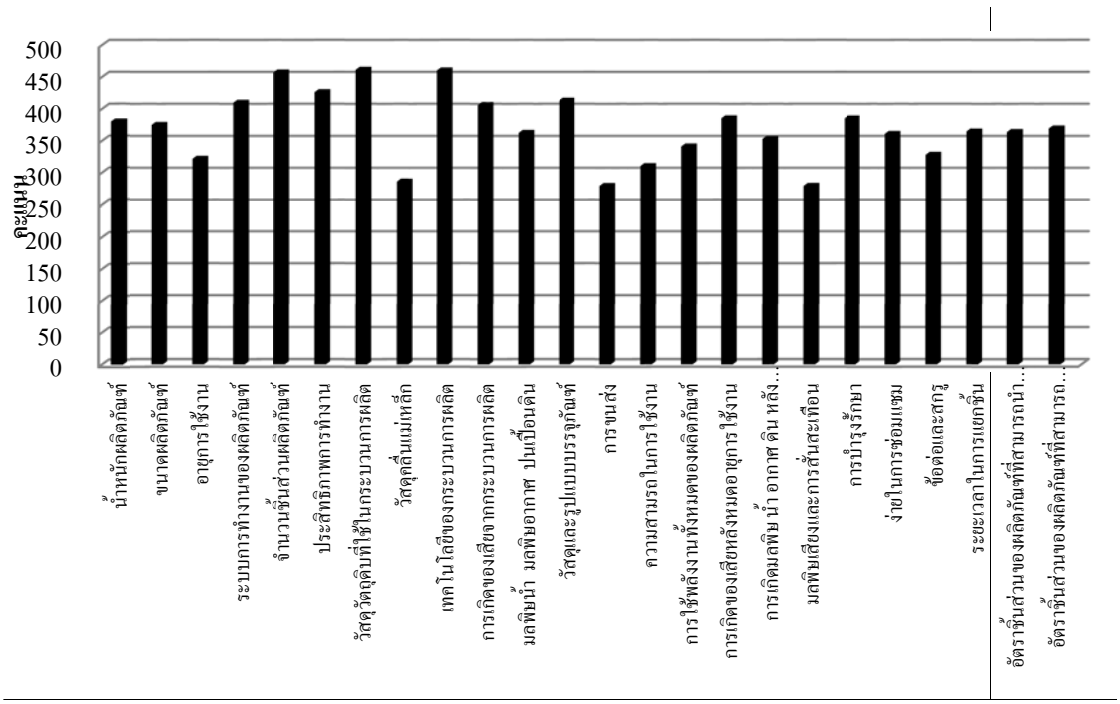
จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟพบว่าชิ้นส่วน PCBA เป็นชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอยู่ระหว่าง 50-60% จึงทำให้เห็นว่าชิ้นส่วน PCBA ควรได้รับการแก้ไข โดยแนวทางในการพัฒนาแก้ไขชิ้นส่วน PCBA ประกอบกับผลการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นประโยชน์ในการบูรณาการ เพื่อการแก้ไขให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากผลการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมที่เป็นความต้องการของลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อม และผลการประเมินความสัมพันธ์ความต้องการของลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อมกับพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ด้วยวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการผลิตนั้นทำให้ทราบถึงแนวทางในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ดังนั้นแนวทางการแก้ไขฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแบบบูรณาการ ด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม ควรทำการแก้ไขวัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วน PCBA ที่ประกอบด้วย ทอง ทองแดง และแผงวงจรไฟฟ้า ด้วยการเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น การใช้วัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล เป็นต้น โดยการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงวัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วน PCBA ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ตาราง 4.4 ผลรวมความสัมพันธ์ปัจจัยความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์

Environmental Parameter / Environmental Stakeholder Requirement	ความต้องการผู้บริโภคด้านสิ่งแวดล้อม	น้ำหนักผลิตภัณฑ์	ขนาดผลิตภัณฑ์	อายุการใช้งาน	ระบบการทำงานของผลิตภัณฑ์	จำนวนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์	ประสิทธิภาพการทำงาน	วัสดุวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต	วัสดุคลื่นแม่เหล็ก	เทคโนโลยีของกระบวนการผลิต	การเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต	มลพิษน้ำ มลพิษอากาศ ปนเปื้อนดิน	วัสดุและรูปแบบบรรจุภัณฑ์
ปล่อยมลพิษน้อยขั้นตอนการผลิต	5.5	5.50	7.56	15.13	21.31	22.69	25.44	33.69	19.94	35.06	36.44	33.69	33.00
การผลิตใช้เทคโนโลยีที่สะอาด	5.6	16.80	13.30	21.70	29.40	32.90	28.00	34.30	18.90	39.20	35.00	30.80	27.30
ใช้สารเคมีอันตรายน้อยในการผลิต	6	15.00	16.50	15.75	16.50	19.50	22.50	39.75	26.25	36.75	39.00	42.00	25.50
ใช้วัสดุที่รีไซเคิลได้ในการผลิต	5.9	10.33	12.54	17.70	14.01	15.49	20.65	35.40	11.80	27.29	30.98	28.76	32.45
ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	7.6	47.50	45.60	29.45	35.15	47.50	38.95	32.30	26.60	41.80	21.85	15.20	28.50
ชิ้นส่วนที่น้อยลงของผลิตภัณฑ์	6.7	46.90	45.23	26.80	33.50	44.39	34.34	37.69	20.10	40.20	24.29	22.61	26.80
อายุการใช้งานยาวนาน	7.5	15.94	15.00	44.06	48.75	39.38	40.31	36.56	20.63	45.00	28.13	21.56	25.31
ลดวัสดุในการห่อและบรรจุ	6.4	34.40	32.80	12.80	12.00	23.20	18.40	20.80	16.00	18.40	23.20	20.80	39.20
ประหยัดพลังงานในขั้นตอนใช้งาน	7.1	23.96	19.53	22.19	39.94	33.73	40.83	30.18	16.86	27.51	29.29	30.18	15.98
สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่	6.7	19.26	20.94	19.26	16.75	22.61	20.10	31.83	15.91	23.45	30.99	30.15	34.34
สะดวกในการนำกลับมารีไซเคิล	6.4	22.40	19.20	13.60	21.60	24.00	22.40	29.60	15.20	25.60	36.00	36.00	34.40
ซ่อมแซมง่ายและมีวัสดุสำรอง	7.1	15.98	22.19	23.08	32.84	31.06	29.29	23.96	11.54	24.85	21.30	12.43	22.19
สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา	6.9	46.58	41.40	16.39	18.98	31.05	21.56	22.43	13.80	21.56	15.53	13.80	32.78
สะดวกในการถอดประกอบ	7.6	37.05	39.90	19.00	21.85	36.10	19.95	28.50	25.65	22.80	13.30	8.55	19.95
ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล	7.3	22.81	23.73	25.55	47.45	33.76	43.80	24.64	27.38	31.03	20.99	16.43	15.51
ผลรวม	100	380.40	375.40	322.45	410.03	457.35	426.51	461.61	286.55	460.50	406.26	362.95	413.20

ตาราง 4.4 ผลรวมความสัมพันธ์ปัจจัยความต้องการของผู้บริโภคในด้านสิ่งแวดล้อมต่อปัจจัยในการผลิตและผลิตภัณฑ์

Environmental Parameter / Environmental Stakeholder Requirement	ความต้องการผู้บริโภคด้านสิ่งแวดล้อม	การขนส่ง	ความสามารถในการใช้งาน	การใช้พลังงานทั้งหมดของผลิตภัณฑ์	การเกิดของเสียหลังหมดอายุการใช้งาน	การเกิดมลพิษ น้ำ อากาศ ดิน หลังหมดอายุการทำงาน	มลพิษเสียงและการสั่นสะเทือน	การบำรุงรักษา	ง่ายในการซ่อมแซม	ข้อต่อและสกรู	ระยะเวลาในการเยกชิ้น	อัตราชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	อัตราชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมารีไซเคิลได้
ปล่อยมลพิษน้อยขั้นตอนการผลิต	5.5	23.38	17.88	26.13	30.25	28.19	21.31	20.63	17.19	14.44	11.69	22.00	25.44
การผลิตใช้เทคโนโลยีที่สะอาด	5.6	13.30	11.90	19.60	21.00	19.60	24.50	29.40	22.40	22.40	18.20	19.60	21.00
ใช้สารเคมีอันตรายน้อยในการผลิต	6	17.25	7.50	18.00	33.00	34.50	9.75	24.00	12.75	13.50	13.50	18.00	19.50
ใช้วัสดุที่รีไซเคิลได้ในการผลิต	5.9	11.06	14.01	14.01	35.40	31.71	17.70	19.18	13.28	11.80	16.23	29.50	30.24
ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	7.6	17.10	32.30	37.05	31.35	23.75	21.85	25.65	18.05	19.00	19.00	25.65	23.75
ชิ้นส่วนที่น้อยลงของผลิตภัณฑ์	6.7	30.15	27.64	27.64	22.61	19.26	19.26	26.80	26.80	25.13	38.53	19.26	20.10
อายุการใช้งานยาวนาน	7.5	20.63	29.06	23.44	18.75	20.63	19.69	36.56	36.56	23.44	24.38	26.25	24.38
ลดวัสดุในการห่อและบรรจุ	6.4	34.40	21.60	8.80	16.80	18.40	13.60	25.60	18.40	18.40	19.20	19.20	17.60
ประหยัดพลังงานในขั้นตอนใช้งาน	7.1	12.43	25.74	50.59	25.74	20.41	24.85	23.96	21.30	19.53	23.96	20.41	23.08
สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่	6.7	15.91	13.40	14.24	40.20	30.99	21.78	15.08	16.75	23.45	29.31	39.36	28.48
สะดวกในการนำกลับมารีไซเคิล	6.4	13.60	12.00	16.00	37.60	30.40	18.40	12.00	16.80	21.60	27.20	27.20	36.80
ซ่อมแซมง่ายและมีวัสดุสำรอง	7.1	7.10	11.54	18.64	25.74	28.40	19.53	42.60	45.26	37.28	38.16	27.51	29.29
สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา	6.9	44.85	18.11	8.63	13.80	12.94	5.18	26.74	32.78	24.15	18.98	21.56	21.56
สะดวกในการถอดประกอบ	7.6	12.35	21.85	14.25	15.20	14.25	15.20	40.85	48.45	40.85	48.45	32.30	29.45
ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล	7.3	6.39	46.54	44.71	18.25	20.08	27.38	16.43	14.60	13.69	18.25	16.43	19.16
ผลรวม	100	279.89	311.06	341.71	385.69	353.50	279.96	385.46	361.36	328.64	365.03	364.24	369.81



รูปที่ 4.11 ผลรวมแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้บริโภคด้านสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม

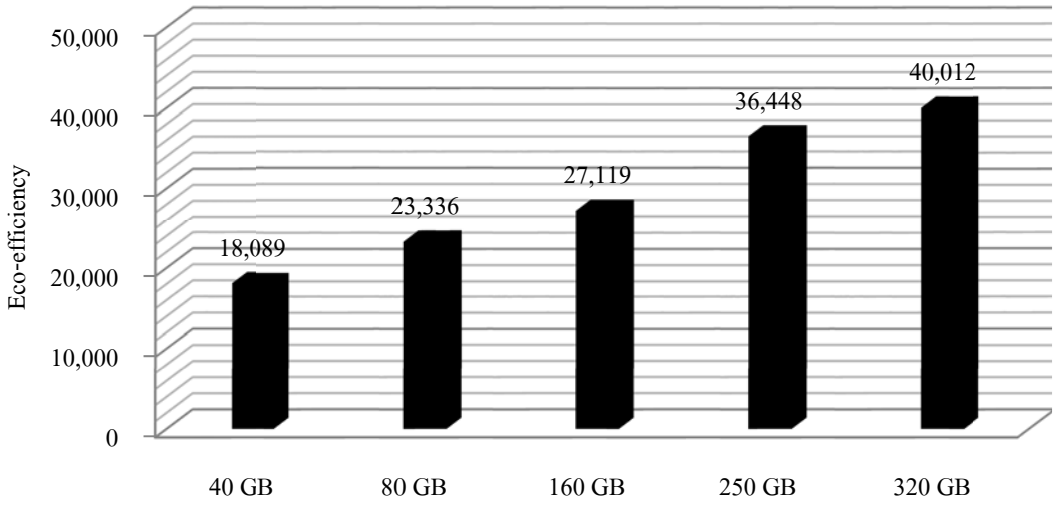
4.3 ศึกษาประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จากการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุและการหาแนวทางพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้ตรงความต้องการของผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมนั้นควรให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมและความต้องการของผู้บริโภคฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามความสำคัญทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้นยังเป็นปัจจัยที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความสำคัญเป็นอันดับหนึ่ง การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจึงมีส่วนช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมมองเห็นถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันไป และแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มและทิศทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พร้อมทั้งแสดงภาพพจน์ของบริษัทหรือภาครวมอุตสาหกรรมที่ให้ความสนใจต่อสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจครั้งนี้ได้นำผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดด้วยวิธีการประเมินผลกระทบทั้ง 2 วิธี (Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99) เปรียบเทียบกับราคาผลิตภัณฑ์ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในท้องตลาดในปัจจุบันตามสมการของ WBCSD (1992) ซึ่งได้กำหนดวิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

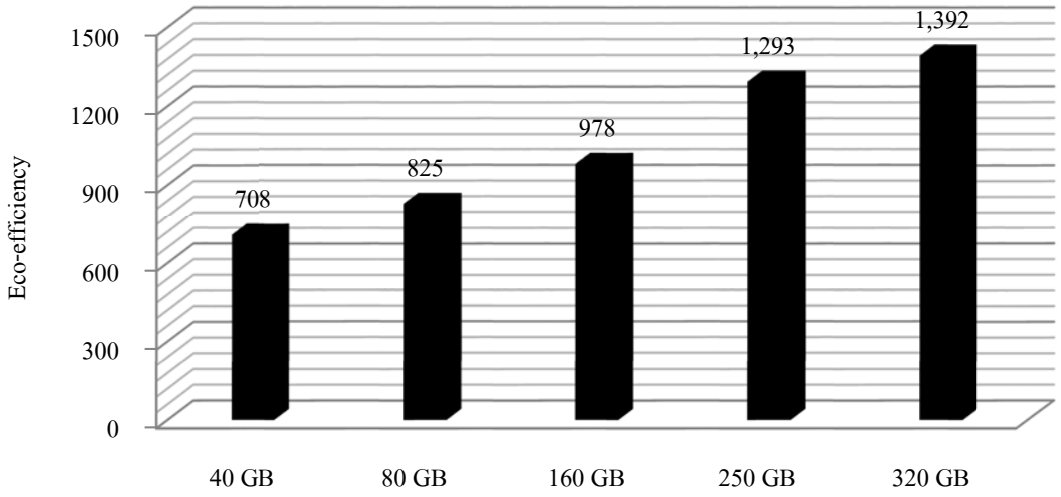
ผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากการนำผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้ง 2 วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

พบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 320 GB มีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 40,012 และ13,929 คะแนนด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่นำค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ประเมินด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 มีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่เพิ่มสูงขึ้นตามขนาดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีขนาดเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟต่อขนาดความจุ (Point/GB) ซึ่งมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่น้อยลงตามขนาดความจุที่เพิ่มสูงขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่ใช้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 เปรียบเทียบกับราคาของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดนั้น พบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่ใช้ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 95 มีค่าที่สูงกว่าค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่มากกว่า Eco-indicator 99 เนื่องจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันของหน่วยที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละด้าน จึงส่งผลให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดด้วยวิธี Eco-indicator 95 มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่าการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 99 ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 95



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 99

ซึ่งจากความสำคัญของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟต่อด้านเศรษฐกิจของประเทศไทยและเกณฑ์มาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่บังคับใช้ในการค้าระหว่างประเทศในปัจจุบันและกฎเกณฑ์สิ่งแวดล้อมที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคตจากการให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมของประชาชนทั่วโลก ทำให้อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟควรทราบถึงแนวทางในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยผลการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม ส่วนในการศึกษาความต้องการของลูกค้าและผู้บริโภคฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในด้านสิ่งแวดล้อมทำให้ทราบว่าลูกค้าและผู้บริโภคให้ความสำคัญกับขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เพิ่มสูงขึ้น และผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาดความจุพบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าลดลงตามขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่พบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เพิ่มสูงขึ้นจากผลการศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำให้เห็นถึงแนวทางในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐศาสตร์ และความต้องการของลูกค้าหรือผู้บริโภคฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้ทราบว่าแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ควรให้ความสำคัญในด้านขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการพัฒนาให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีขนาดความจุที่เพิ่มสูงมากขึ้นกว่าในปัจจุบัน และเพิ่มการพัฒนาการเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้มากขึ้น และการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจฮาร์ดิสก์ไดร์ฟ ด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ การแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม และ การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ เพื่อแสวงหาแนวทางการพัฒนาหรือแก้ไขผลิตภัณฑ์ให้มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ลดลงโดยผลการศึกษาสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 40 GB มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.00121 และ 0.0309 Pt/GB ด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 ตามลำดับ และค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อขนาดความจุ (Pt/GB) มีค่าลดลงตามขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เพิ่มมากขึ้น

2. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 95 มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนวัตถุดิบมากกว่าขั้นตอนการใช้โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.49% และ 46.51% ตามลำดับ ในขณะที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธี Eco-indicator 99 ขั้นตอนการใช้งานเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าขั้นตอนวัตถุดิบโดยมีค่าสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 68.37% ซึ่จากผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งสองวิธี ในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟควรให้ความสำคัญทั้งสองช่วงวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

3. การเปรียบเทียบสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ พบว่าชิ้นส่วน PCBA เป็นชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 49-56% และ 55-63% ด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99ตามลำดับ

4. แนวทางการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยการแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและความต้องการของลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าลูกค้าให้ความสำคัญเกี่ยวกับขนาดของความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นอันดับหนึ่ง ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลและอายุการใช้งานเป็นอันดับสองและสามตามลำดับ และเมื่อนำความต้องการของลูกค้าในด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผลิตภัณฑ์และการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิศวกร พบว่าแนวทางในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟควรให้ความสำคัญด้านวัสดุและวัตถุดิบที่เลือกใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นอันดับแรก และให้ความสำคัญ

เกี่ยวกับเทคโนโลยีในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จำนวนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพการทำงาน และรูปแบบบรรจุภัณฑ์ตามลำดับ

5. การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 320 GB มีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมากที่สุดด้วยการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 โดยมีค่าเท่ากับ 4,012 และ 1,392 คะแนนตามลำดับ และฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 40 GB มีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 18,089 และ 708 คะแนนด้วยวิธี Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 ตามลำดับ โดยแนวโน้มของค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตามขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เพิ่มสูงขึ้น

6. แนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยเครื่องมือของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่ประกอบด้วย การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ การแปลงหน้าที่คุณภาพสิ่งแวดล้อม และค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ พบว่าควรมีการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุสูงขึ้น โดยมีการเลือกใช้วัสดุและวัตถุดิบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการผลิต

5.2 ข้อเสนอแนะจากการทำวิจัย

1. ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้วยโปรแกรม SimaPro นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลน้ำหนักและวัสดุ ดังนั้นในการแยกชิ้นส่วนควรทำการแยกชิ้นส่วนออกมาให้มีความละเอียดมากที่สุดและใช้เครื่องมือชั้งน้ำหนักที่มีความละเอียดสูง เพราะค่าน้ำหนักของชิ้นส่วนจะส่งผลต่อค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม

2. การหาแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้ตรงกับความต้องการของลูกค้านั้นจำเป็นต้องใช้แบบสำรวจเพื่อหาความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งกลุ่มตัวแทนนั้นต้องเป็นตัวแทนของกลุ่มลูกค้าที่ต้องการศึกษาและต้องพยายามทำการสำรวจให้ได้มากขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและเป็นไปตามความต้องการของลูกค้าโดยแท้จริง ส่วนการแปลงหน้าที่สิ่งแวดล้อมเพื่อกำหนดระดับความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของลูกค้ากับพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม การศึกษาควรทำการระดมความคิดของบริษัทผู้ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์โดยมุ่งเน้นไปที่บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผลที่ได้ออกมานั้นมีค่าที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

3. จากผลของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจึงทำให้เห็นว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุสูงนั้นจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจที่มาก

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2552). **สถานการณ์เกี่ยวกับการใช้สื่อ ICT ของประเทศไทย**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 3 สิงหาคม 2552] จาก http://www.thaiaseanhomeworkers.org

กระทรวงอุตสาหกรรม. (2551). **จำนวนสถานประกอบการอิเลคทรอนิกส์ของประเทศไทย**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 11 สิงหาคม 2551] จาก http://www.dip.go.th

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). **การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 12 มกราคม 2552] จาก http://www.pcd.go.th

ก่อเกียรติ เกิดปากแพรก และกิติกร จามรดุสิต. (2551). **การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมีภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง**. กาประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กฤษกร เจียมจรัสศิลป และคณะ. (2548). **การประเมินวัฏจักรชีวิตของสีผง.**ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เครื่อข่ายการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจไทย. (2552). **การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 24 มกราคม 2552] จาก http://www2.mtec.or.th

จักรกฤช สุภาวสุทธิ์. (2548). **ยุทธศาสตร์การจัดการโซ่อุปทานกับความสามารถในการแข่งขัน กรณีศึกษาจากบริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ**.สาขาวิชาการพัฒนาความสามารถทางการแข่งขันเชิงอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

จุฑารัตน์ ซื่อสัตย์. (2552). **การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเตาอบไมโครเวฟ โดยใช้หลักการของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**. สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ปทุมธานีฯ.

ชัยรัตน์ แจ้งเจนรบ. (2545). **การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์**. ภาควิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.

ธีรนันทา ฤทธิ์มณี และ จิรวรรณ เตียรถ์สุวรรณ. (2548). **การประเมินวัฏจักรชีวิตในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม**.สายวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

ปริญญ์ บุญกนิษฐ, อรรถกร เก่งพล และ อรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์. (2549). การปรับปรุงผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกินในระดับแนวคิดด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อย่างง่าย กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตบัลลาสอิเล็กทรอนิกส์.**วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. ปีที่ 16 (4): 40-47

ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา และคนอื่นๆ. **การประเมินวัฏจักรชีวิตและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2552). **จำนวนนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**.[ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 4 สิงหาคม 2552] จาก http://www.sut.ac.th

วารุณีมุสิกชาติ, ชัยฤทธิ์สัตยาประเสริฐและ สุรเทพเขียวหอม.(2548). **การประเมินรวมความเสี่ยงและการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับการประเมินการผลิตคาร์บอนนาโนทิวบ์**. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

วรยุทธ สายบัวตรงและธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. (2550). **การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 17

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. (2551). **มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 11 สิงหาคม 2551] จาก http://www.thaieei.com

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2552). **ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 21 มิถุนายน 2552] จาก http://www.tie.or.th

สถาบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. (2551). **ปริมาณการผลิตการส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไทย**.[ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 11 สิงหาคม 2551] จาก http://www3.easywebtime.com/hdd_cluster/

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2551). **ข้อการส่งออกโดยรวมของทั้งประเทศ**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 11 สิงหาคม 2551] จากhttp://www.oae.go.th

เสกสรร พาป้องและปมทอง มาลากุลณอยุธยา. (2551).**การประเมินความคุ้มค่าเชิงพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไบโอเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต.** การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2552). **ผลสำรวจผู้ใช้อินเทอร์เน็ตปี 2548**.[ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 7 สิงหาคม 2552] จาก http://www.nectec.or.th/

ThaiROHs.org. (2551).**สาระสำคัญของระเบียบ WEEE &RoHS**.[ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 28 กันยายน 2551] จากhttp://www.tthairohs.org

อรพรรณ บุญพร้อมและนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์.(2552). **การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้ LCA เป็นเครื่องมือในการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้ว.**คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. นครปฐม

อัครเดช จวงถาวร, ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, งามทิพย์ ภู่วโรดม และรัตนาวรรณ มั่งคั่ง. (2550). **การประเมินสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง.**การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17

อรชุมาดี ศรีแก้ว และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ.(2550). **การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17

เหมือนจิต วิเชฎฐะพงษ์. (2551). **การประเมินความเหมาะสมของเชื่อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ โดยใช้หลักการบัญชีสิ่งแวดล้อม และการประเมินวงจรชีวิต**. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

Akao, Y. (1990). Quality Function Deployment.**Productivity press**. Cambridge.

Ammenberg, J. and Sundin, E. (2005). Products in environmental management systems: the role of auditors. **Journal of Cleaner Production**. 13 (4): 417-31.

Bereketi, I., Gennevois, M., and Ulukan, H. (2009).Green Product Design for Mobile Phones.**Engineering and Technology.**58: 213-217.

Byung-Chul, C., Hang-Sik, S., Su-Yol, L., and Tak, H. (2006).Life Cycle Assessment of a Personal Computer and its Effective Recycling Rate**. The International Journal of Life Cycle Assessment**. 11 (2): 122 – 128.

Charter, M., and Tischner, U. (2001).Sustainable Solutions Developing Products and Services for the Further. UK. **Greenleaf Publishes Limited**.

Gutierrez, Y.B., Adenso-Dıaz, B., and Hopp, M. (2008).An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation.**Resources Conservation and Recycling**. 52: 481–495.

Gurauskiene, I., and VarŽinskas, V. (2006). Eco-design Methodology for Electrical and Electronic Equipment Industry**. Environmental Research Engineering and Management**. 3(37): .43-51.

Halog, A., Schultmann, F., and Rentz, O. (2001), Usingquality function deployment for technique selection for optimum environmental performanceimprovement, **Journal of Cleaner Production**. 9: 387-394.

Hans-J,A., Blaser, S., Classen, M., and Jungbluth, N. (2007). Life Cycle Inventories of Metals. **Final report ecoinvent 2000.** 10.

Heejeong, Y., and Christoph, H. (2003).Eco-Voice of Consumer *(*VOC*)* on QFD.**IEEE**.xx: 618-625.

Ho S.-C.,andChuah Y.K. (2000). Power consumption of se Hans-J,A., miconductorfabs in Taiwan**.Energy.** 28: 895–907.

Hischier, R., Wager, P., and Gauglhofer, F. (2005).Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE).**Environmental Impact Assessment Review**. 25: 525– 539.

In-Soung, C., and Jae-Hyung, K. (2001). Development of clean technology in wafer drying processes**.Cleaner Production**. 9: 227–232.

Kumar, S., and McCaffrey, T.R. (2003). Engineering economics at a hard disk drive manufacturer. **Technovation.** 23: 749-755.

Keijiro, M., Tomohiko, S., Mitsuru, K., and Atsushi, I. (2001).Quality Function Deployment for environmental: QFDE(2nd report). **IEEE**.858-863.

Keijiro, M., Tomohiko, S., Mitsuru, K., and Atsushi, I. (2003).Applying Quality Function Deployment to environmentally conscious design.**International Journal of Quality and Reliability manangement**. 20 (1) : 90-106.

Mendez-Vilas, A.,Jodar-Reyes, A.B., Dıaz, J., and Gonzalez-Martın, M.L. (2008). Nanoscale aggregation phenomena at the contact line of air-drying pure water droplets on silicon revealed by atomic force microscopy. **Current Applied Physics**. 9: 48–58.

Makino, T., and Shigematsu, T. (2005). Study on Life Cycle Assessment of a Small Magnetic Disk Drive**. J-east.**58: 117-118.

Mathieux, F., Froelich, D., and Moszkowicz, P. (2007). ReSICLED: a new recovery-conscious design method for complex products based on a multicriteria assessment of the recoverability. **Journal Cleaner Production.**16 : 277-298.

Murphy, C., Laurent, J.P., and Allen, D.T. (2003).Life Cycle Inventory Development for Wafer Fabrication in Semiconductor Manufacturing.**IEEE**.xx: 276-281

NdiayeP.I., Moulln, P., Dominguez, L., Millet, J.C., and Charbit, F. (2005).Removal of fluoride from electronic industrial effluent by RO membrane separation.**Desalinatio**n. 173: 25-32

Ola, E., Goran, F., Tomas, E., and Anna, B. (2007).Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. **Energy Policy**. 35: 1346–1362

Pre' Consultants.(2001). **SimaPro Manual Book**.

Percin, G., and T. Khuri-Yakub, B. (2003). Photoresist Deposition Without Spinning**. IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING**. 16 (3): 452-459

Shu-Hai You, Dyi-Hwa Tseng, and Gia-LuenGuo. (2000) A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry. **Resources, Conservation and Recycling**. 32: 73–81

Stachura, M., Schiffleitner, A.,andSalhofer, S. (2008). Life Cycle Indicator and their significance for the Eco-design of electronic products. **Tele & Radio Resarch Institute**, 1: 116-121

Sugaya, S. (2006).Trends in enterprise Hard Disk Drive.**Fujitsu Science Technology**. 42(1): 61-71

Suk, M.,Kroeker, R., and Gills, D.(2003).Investigation of slider dynamics under electro-static force.**Microsystem Technologies**. 9(4): 256-265

Toshiba.(2009). **Power Requirements**. [Online][9 October 2009]http://www.toshibastorage.com

Wood, R. (2008). Future hard disk drive systems.**Journal of Magnetism and Magnetic Materials**. Xx: xxx-xxx

Yamane, T. (1976).**Mathematics for economists: an elementary survey**. 2nd ed. New Delhi: Prentice-Hall.

ภาคผนวก ก

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ตาราง ก 1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Pt)	
	Eco-indicator 95	Eco-indicator 95
40 GB	0.0484	1.2364
80 GB	0.0651	1.8413
160 GB	0.0597	1.6560
250 GB	0.0573	1.6164
320 GB	0.0545	1.5665

ตาราง ก 2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อขนาดความจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Pt/GB)	
	Eco-indicator 95	Eco-indicator 95
40 GB	0.00121	0.0309
80 GB	0.00081	0.0230
160 GB	0.00037	0.0104
250 GB	0.00023	0.0065
320 GB	0.00017	0.0049

ตาราง ก 3 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นตอนวัตถุดิบและขั้นตอนใช้งานด้วยวิธี Eco-indicator 95

HDD	Raw material					Use
	Body	PCBA	Motor	Head	Media	Electrical
40 GB	22.12	32.61	4.52	4.53	0.62	38.2
80 GB	16.54	27	2.78	4.05	0.47	49.17
160 GB	18.28	30.64	1.55	2.63	0.71	46.19
250 GB	17.89	27.51	0.9	3.43	1.94	48.33
320 GB	18.76	24.45	0.97	3.96	1.21	50.64

ตาราง ก 4 สัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นตอนวัตถุดิบและขั้นตอนใช้งานด้วยวิธี Eco-indicator 99

HDD	Raw material					Use
	Body	PCBA	Motor	Head	Media	Electrical
40 GB	12.35	21.9	1.62	2.72	0.45	60.96
80 GB	8.34	16.39	1.81	2.21	0.3	70.95
160 GB	9.47	18.97	1.2	1.83	0.57	67.97
250 GB	9.1	16.76	0.74	2.29	1.16	69.95
320 GB	4.38	14.6	0.79	2.58	0.8	71.85

ภาคผนวก ข

การศึกษาแนวทางพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
ที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ ข 1 ผลสำรวจความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค

ความต้องการด้านสิ่งแวดล้อม	ผลจากการสำรวจความต้องการลูกค้า	เปอร์เซ็นต์
การปล่อยมลพิษที่น้อยในขั้นตอนการผลิต	2,316	5.51
การใช้เทคโนโลยีที่สะอาดในขั้นตอนการผลิต	2,353	5.60
มีการใช้สารอันตรายที่น้อย	2,498	5.95
ใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิล	2,455	5.85
ขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Gigabyte)	3,184	7.58
จำนวนชิ้นส่วนประกอบที่น้อย	2,809	6.69
อายุการใช้งานยาวนาน	3,157	7.52
ลดวัสดุในการห่อและบรรจุ	2,686	6.40
ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในขณะใช้งาน	2,979	7.09
สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่	2,800	6.67
สะดวกในการนำกลับมารีไซเคิล	2,677	6.37
ซ่อมแซมง่ายและมีวัสดุสำรอง	2,976	7.09
สะดวกในการถอดประกอบ	2,889	6.88
ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล	3,174	7.56
สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา	3,047	7.25
รวม	42,000	100

หมายเหตุ: จำนวนข้อมูล 400 ข้อมูล

ภาคผนวก ค

ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ตารางที่ ค 1 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ขนาด

Hard Disk Drive	Eco-efficiency	
	Eco-indicator 95	Eco-indicator 99
40 GB	18,089	708
80 GB	23,336	825
160 GB	27,119	978
250 GB	36,448	1,293
320 GB	40,012	1,392

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ระหว่างการศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

สมพงษ์ วณิชวัฒนวรชัย (2553). **การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยอาศัยหลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**. การประชุมสัมมนาสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 9. วันที่ 25 มีนาคม 2553. อุบลราชธานี, หน้า 249

25R5-05

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยอาศัยหลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

Environmental Impact of Hard Disk Drive using Eco-design Approach

สมพงษ์ วณิชวัฒนวรชัย[1] และ บุญชัย วิจิตรเสถียร[2*]

Sompong Vanitwattanavorachai[1] and Boochai Wichitsathian[2*]

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิกส์ในประเทศไทยมีอัตราการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น และมีบทบาทสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ โดยอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบคอมพิวเตอร์มีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 551,030 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 10.51 ของการส่งออกโดยรวมของทั้งประเทศ [1, 2]

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอดีตจะมุ่งเน้นการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและผู้ผลิตเป็นหลัก แต่จากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันทำให้แนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปโดยคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ [3] จึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยมีเป้าหมายหลักของการออกแบบเพื่อให้เกิดการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติ พลังงาน และเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และจากการศึกษาของ [4] พบว่าระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจมีโอกาสที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์และเปลี่ยนแปลงการออกแบบมากที่สุดเพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดต่างๆ

อุปกรณ์และวิธีการ

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดความจุ 40, 80, 160, 250 และ 320 Gigabyte (GB) ด้วยวิธีการแยกชิ้นส่วนและวัสดุ ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป SimaPro v7.1 ด้วยวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม Eco-indicator 95 และ Eco-indicator 99 เพื่อแสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต่อสิ่งมีชีวิตตามลำดับ โดยขั้นตอนในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

1. แยกชิ้นส่วนและประเภทวัสดุ
2. ชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วน และทำการชั่งน้ำหนักแยกประเภทของวัสดุ
3. นำข้อมูลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักเป็นข้อมูลที่สารขาเข้าในการลงฐานข้อมูลโปรแกรม SimaPro 7.1
4. ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 95 และวิธี Eco-indicator 99
5. สรุปผลการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ในประเด็นปัญหาต่างๆ

[1]บัณฑิตศึกษา ; [2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000;

*โทรศัพท์ : 0-4422-4451, โทรสาร : 0-4422-4606,

e-mail : boonchai@sut.ac.th

การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจสามารถทำได้จากการพิจารณาสัดส่วนทางด้านเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมล้อม โดย WBCSD [5] ได้กำหนดวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจซึ่งสามารถคำนวณดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{Eco-Efficiency} = \frac{\text{(Product or service value)}}{\text{(Environmental influence)}} \quad (1)$$

โดยการศึกษาครั้งนี้ทำการกำหนดตัวแปรในการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยตัวแปรขาเข้า (Input) ได้แก่ ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ประเมินได้จากโปรแกรม SimaPro 7.1 ในขั้นตอนแรก และราคาของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Output) จะใช้สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\text{Eco-Efficiency} = \frac{\text{Price of Hard Disk Drive}}{\text{Environmental impact}} \quad (2)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

โดยเมื่อทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละขนาด พบว่าฮาร์ดดิสก์ขนาด 80 กิ๊กกะไบท์มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทั้ง 2 วิธีการประเมินผลกระทบ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์แต่ละขนาดไม่มีความแตกต่าง แต่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 80 กิ๊กกาไบท์มีการใช้ไฟฟ้ามากกว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อขนาดฮาร์ดดิสก์แต่ละขนาด จะเห็นได้ว่าแนวโน้มผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีผลกระทบที่น้อยลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้นของฮาร์ดดิสก์ และจากการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์แต่ละขนาด ทำให้ทราบว่าชิ้นส่วน PCBA มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์และค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตามขนาดฮาร์ดดิสก์

สรุปผลการศึกษา

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันไป ซึ่งการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจนั้นถือเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ช่วยในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนประกอบว่าชิ้นส่วนใดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและควรได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และตรงตามความต้องการทางด้านการตลาดมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2551). จำนวนสถานประกอบการอิเลคทรอนิกส์. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 11 สิงหาคม 2551] จาก http://www.industry.go.th

[2] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. (2551). มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 11 สิงหาคม 2551] จาก http://www.thaieei.com

[3] สถาบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. (2551). ปริมาณการผลิตการส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไทย. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 11 สิงหาคม 2551] จาก http://www3.easywebtime.com/hdd_cluster/

[4] Charter, M., and Tischner, U. (2001). Sustainable Solutions Developing Products and Services for the Further. UK. Greenleaf Publishes Limited.

[5] WBCSD Congresses in Antwerp, November (1993), March (1995) and Washington, November (1995); WBCSD: Eco-efficient leadership for improved economic and environmental performance (1996)

ประวัติผู้เขียน

นายสมพงษ์ วณิชวัฒนวรชัย เกิดเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 ที่อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอุดมวิทยา ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบ่อพลอยรัชดาภิเษก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2550 เนื่องจากมีความสนใจและเล็งเห็นความสำคัญในการหาความรู้เพิ่มเติมในสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จึงเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ในปีการศึกษา 2551 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยอาศัยหลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความในการประชุมสัมมนาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9 ประจำปี 2553 เรื่องการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยอาศัยหลักการการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยมีรายละเอียดประกอบดังภาคผนวก ง.